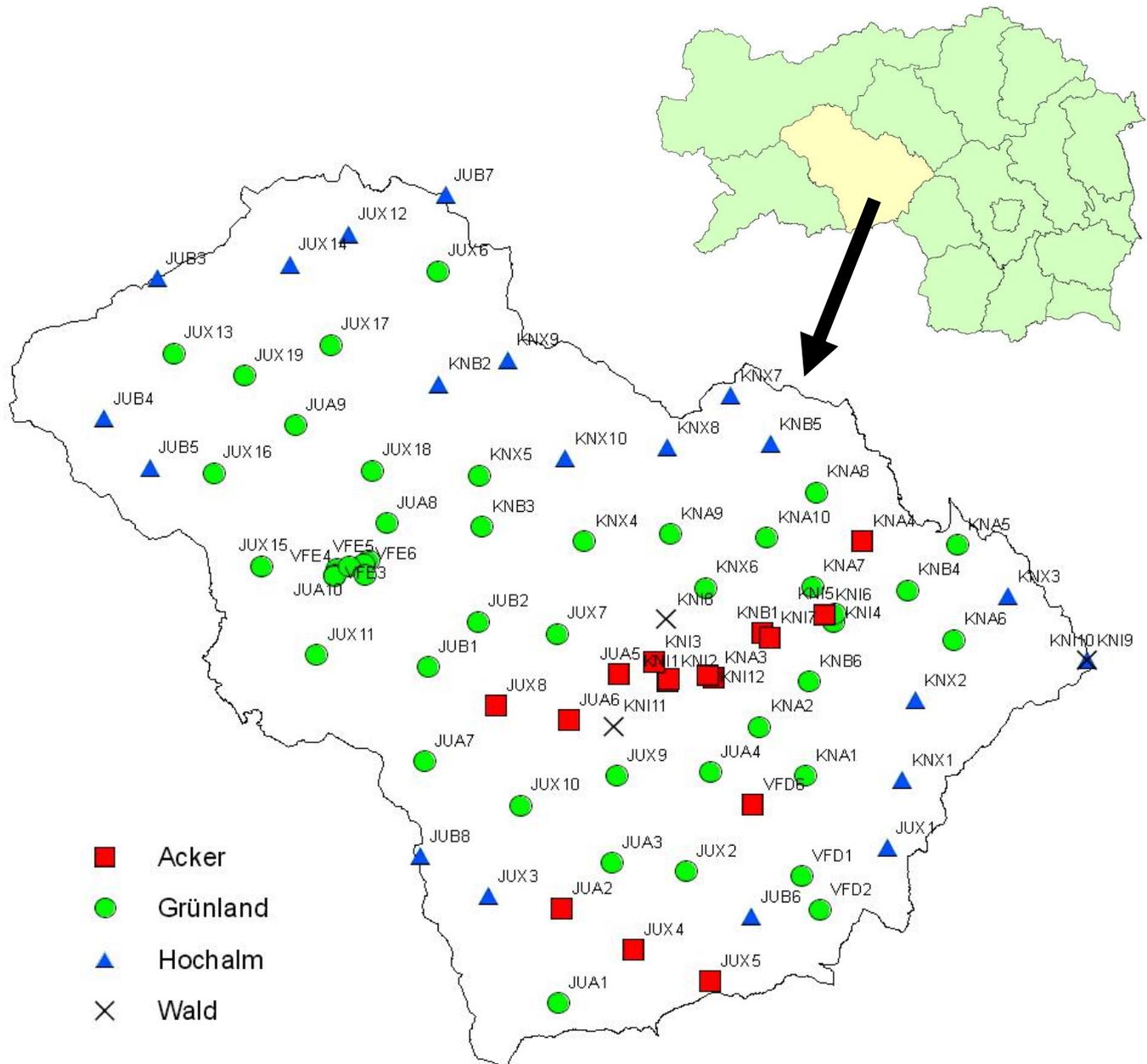


Bodenzustandsinventur Bezirk Murtal

Bodenschutz-
bericht

2012



Das Land
Steiermark

Amt der Steiermärkischen Landesregierung

A10 Land- und Forstwirtschaft, Boden- und Pflanzenanalytik



VORWORT

Der Boden als eine der wichtigsten Lebensressourcen

Der Boden ist eine unserer wichtigsten Lebensressourcen, die es mit größter Sorgfalt zu bewirtschaften bzw. zu nutzen gilt. Sowohl jede Bewirtschaftung, als auch jede „Nicht-Bewirtschaftung“ kann den Zustand des Bodens erheblich verändern. Damit wir jedoch auf Veränderungen rasch reagieren können und die richtigen Schritte setzen, bedarf es eines exakten Überblickes über den Zustand des Bodens.

Der vorliegende Bodenschutzbericht 2012 präsentiert die Ergebnisse der Bodenzustandsinventur im Bezirk Murtal und diskutiert in bewährter Weise die gegebene Nährstoffversorgungs- und Schadstoffbelastungssituation der landwirtschaftlich genutzten Böden.



Diese umfangreiche Erfassung des Bodenzustandes in der Steiermark gibt uns die Möglichkeit, entsprechende Maßnahmen zur nachhaltigen Sicherung unserer Lebensgrundlage Boden zu treffen. Zudem bilden die Ergebnisse der Untersuchungen eine fundierte Basis für die Überwachung etwaiger Bodenveränderungen, welche in Form einer Bodendauerbeobachtung bereits durchgeführt wird.

Johann Seiting
Landesrat für Land- und Forstwirtschaft,
Wasser- und Abfallwirtschaft, Wohnbau und Nachhaltigkeit

Inhaltsangabe

	Seite
<u>Die Bodenzustandsinventur im Bezirk Murtal</u>	
Zusammenfassung	3
1. Zielsetzung und gesetzlicher Auftrag	6
2. Durchführung der Untersuchungen	7
3. Geologie	11
4. Bodentypen	16
5. Bodenbildendes Ausgangsmaterial	20
6. Erosion	21
7. Bodenverdichtung	23
8. Die Ergebnisse der Bodenzustandsinventur	25
Allgemeines	27
Allgemeine Bodenparameter und Nährstoffe	29
Sand, Schluff, Ton	29
Humus	31
pH-Wert	33
Kalk	35
Phosphor	37
Kalium	39
Magnesium	41
Bor	43
Die EDTA-extrahierbaren Spurenelemente Cu, Zn, Mn + Fe	45
Die austauschbaren Kationen Ca, Mg, K + Na	48
Das wasserextrahierbare Fluor	51

Inhaltsangabe

	Seite
Schwermetalle	53
Allgemeines	53
Kupfer	58
Zink	59
Blei	60
Chrom	61
Nickel	62
Kobalt	63
Molybdän	64
Cadmium	65
Quecksilber	66
Arsen	67
Untersuchung von Pflanzenproben	68
Organische Schadstoffe	71
Die chlorierten Kohlenwasserstoffe HCB, Lindan + DDT	71
Die polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffe	73
Triazin - Rückstände	76
Bodenbelastungen im historischen Bergbaugebiet Oberzeiring	77
Der historische Arsenbergbau im Kothgraben bei Kleinfestritz	81
Erläuterung der Abkürzungen	85
Literatur	86
Impressum	87

Zusammenfassung

Die Ergebnisse der Bodenzustandsinventur im Bezirk Murtal:

Ziel und Durchführung der Untersuchungen:

Das Steiermärkische landwirtschaftliche Bodenschutzgesetz (LGBl. Nr. 66/1987) und die Bodenschutzprogrammverordnung (LGBl. Nr. 87/1987) sehen vor, dass in der Steiermark zur Beurteilung des durch Schadstoffeintrag, Erosion und Verdichtung gegebenen Belastungsgrades landwirtschaftlicher Böden ein geeignetes ständiges Netz von Untersuchungsstellen geschaffen und dort laufend Zustandskontrollen durchgeführt werden.

Um diesem Auftrag gerecht zu werden, wurden vom Referat Boden- und Pflanzenanalytik der A10 Land- und Forstwirtschaft in den Jahren 1986 bis 2006 **1.000 Untersuchungsstandorte** in der Steiermark eingerichtet (**84 davon im Bezirk Murtal**) und die Böden auf die vom Gesetz geforderte Vielzahl von Parametern (allgemeine Bodenparameter, Nähr- und Schadstoffe) untersucht.

Der vorliegende Bericht präsentiert die Ergebnisse dieser Bodenzustandsinventur im Bezirk Murtal.

Untersuchungsergebnisse:

Allgemeine Bodenparameter:

Der **Humusgehalt** der Böden ist an allen untersuchten Standorten in Ordnung.

pH-Wert oder **Säuregrad**: Der Prozentsatz der als „sauer“ eingestuften Böden im Bezirk Murtal ist deutlich höher (51 %) als jener der landesweiten Bodenzustandsinventur (37 %). Ursache ist das fast ausschließlich kalkfreie bodenbildende Ausgangsmaterial.

Nährstoffe, Spurenelemente und das wasserlösliche Fluor:

Phosphor und **Kalium**: Beim Kalium sind 44 % der untersuchten Standorte ausreichend versorgt, 43 % der Böden liegen in den Gehaltsklassen „hoch“ und „sehr hoch“.

Beim Phosphor hingegen wurde an 75 % der Untersuchungsstellen ein Nährstoffmangel festgestellt. Zur Korrektur des Nährstoffangebotes im Boden landwirtschaftlich genutzter Flächen sind Düngegaben exakt auf den jeweiligen Nährstoffbedarf der Pflanzen abzustimmen. An den überdüngten Flächen sind die Düngegaben zu reduzieren. Versorgungsmängel können durch gezielte Nährstoffgaben ausgeglichen werden. In jedem Fall wird empfohlen, Düngungsmaßnahmen nur entsprechend einer fachkundigen Bodenuntersuchung und laut Düngeplan (z. B. der Düngeberatungsstelle der Landeskammer für Land- und Forstwirtschaft) durchzuführen.

Magnesium: Vergleichbar mit der landesweiten Bodenzustandsinventur liegt der Großteil der im Bezirk Murtal untersuchten Standorte in den beiden höchsten Gehaltsklassen der Magnesiumversorgung. Negative Auswirkungen einer Magnesium-Übersorgung von Böden sind nicht bekannt. Probleme kann nur Magnesiummangel verursachen.

Bor: 82 % der untersuchten Standorte liegen im mittleren Gehaltsbereich, die übrigen Standorte befinden sich in der niedrigen Gehaltsklasse. Düngemaßnahmen sind aber nur im Falle einer Kultivierung von borbedürftigen Pflanzen in Erwägung zu ziehen.

Die pflanzenverfügbaren Spurenelemente Kupfer, Zink, Mangan und Eisen:

Bei den Spurennährstoffen Kupfer, Zink und Mangan liegt der Großteil der Standorte im mittleren, beim Eisen überwiegend im hohen Versorgungsbereich.

Die austauschbaren Kationen Kalzium, Magnesium, Kalium und Natrium:

Die Nährstoffbilanz der im Bezirk Murtal untersuchten Standorte ist bei etwa der Hälfte der Böden in Ordnung, die andere Hälfte weist eine niedrige Kationenbelegung auf. Eine nicht ausgewogene Nährstoffbilanz lässt sich durch fachgerechte Düngemaßnahmen und eine Anhebung des pH-Wertes (Kalkung) leicht korrigieren.

Das wasserlösliche Fluor: Erhöhte Fluorgehalte (über 1,2 mg/kg) sind entweder ein Indiz für Immissionen aus industriellen Prozessen, oder für einen Eintrag über Verunreinigungen in Düngemitteln. Die Böden im Bezirk Murtal weisen deutlich weniger belastete Flächen auf als der landesweite Durchschnitt.

Schwermetalle:

Der Bezirk Murtal weist bei den meisten Schwermetallen höhere Durchschnittsgehalte auf als jene der landesweiten Bodenzustandsinventur. Grund ist der naturgegebene geogene Anteil an erziehen Gesteinen, der vor allem in Regionen mit historischem Bergbau fallweise extreme Schwermetallgehalte im Boden bedingt.

An 30 von 84 untersuchten Standorten wurden Grenzwertüberschreitungen festgestellt. Entsprechend der gesetzlichen Vorgabe wurden an diesen Untersuchungsstellen **Pflanzenproben** untersucht, wobei fallweise die Orientierungswerte für Schwermetalle in Pflanzen überschritten werden. Beim Element **Blei** wurden an zwei Standorten sogar Überschreitungen der Höchstwerte laut Futtermittelverordnung festgestellt. Zwei der Pflanzenproben einer Untersuchungsstelle erwiesen sich jedoch als mit Bodenpartikeln kontaminiert, eine dritte Probe dieser Untersuchungsstelle von frischem Gras enthielt normale Schwermetallgehalte. Der zweite Standort ist eine Hochalmfläche ohne landwirtschaftliche Nutzung und daher ist die Belastung tolerierbar.

Organische Schadstoffe:

In den untersuchten Böden des Bezirks Murtal waren, abgesehen von einigen vernachlässigbaren Spuren, keine **HCB-, Lindan-, oder DDT-Rückstände** nachzuweisen.

Belastungen mit **polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen** sind ein Hinweis auf Schadstoffeinträge aus Verbrennungsprozessen. Im Bezirk Murtal liegen die Schadstoffrückstände an 96 % der untersuchten Standorte im normalen Bereich ubiquitärer Belastung. Zwei Standorte weisen eine erhöhte Belastung auf, welche voraussichtlich auf kleinere Brandereignisse bzw. Einträge aus dem Schwemmmaterial der Mur zurückzuführen sind. Ein Ackerstandort mit lokal eng begrenzter starker Belastung ist ein ehemaliger Köhlereiplatz in der Nähe eines historischen Arsenbergbaus.

Atrazin-Rückstände (Unkrautvernichtungsmittel) waren in den Böden des Bezirkes Murtal nur bei der Erstuntersuchung an drei der 16 untersuchten Ackerstandorte nachzuweisen. An zwei Untersuchungsstellen waren im Zuge der folgenden Bodendauerbeobachtung keine Rückstände mehr nachweisbar. Am oben erwähnten Ackerstandort der ehemaligen Köhlerei ist der Abbau durch die Bindung der Rückstände an den Kohlenstoff stark verlangsamt.

Information - Datenweitergabe:

Die Besitzer/Pächter der kontrollierten Flächen wurden von den Untersuchungsergebnissen informiert; außerdem sind sämtliche Analysendaten in anonymisierter Form im Internet einsehbar.

Das weitere Vorgehen:

Die derzeit in Arbeit befindliche **Bodendauerbeobachtung** wurde in Form von Kontrollen im Zehn-Jahresabstand bereits 1996 begonnen. Erste Aussagen über Trends und Ergebnisse sind nach zwei bis drei Untersuchungsdekaden zu erwarten. Dazu liegt heute schon rund 85 % des zur Auswertung benötigten Proben- und Datenmaterials vor und es wird bei konsequenter Weiterführung bis spätestens 2026 eine erstmalige Erfassung von mittelfristigen Bodenveränderungen hinsichtlich Nährstoffversorgung und Schadstoffbelastung der steirischen Böden vorliegen.

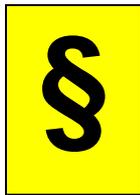
Folgende wichtige Fragestellungen des Bodenschutzes werden dabei behandelt:

- **Humusverarmung** und **Bodenversauerung** an ackerbaulich genutzten Flächen.
- **Nährstoffverarmung** und **Überdüngung** von landwirtschaftlich genutzten Flächen.
- Finden weiterhin **Schadstoffeinträge von Schwermetallen** statt und
- kommt es zu einer für Mensch, Tier und Pflanzen gefährdenden **Mobilisierung**?
- Wie ist der Trend (Zu- oder Abnahme) der Bodengehalte für die **organischen Schadstoffe** (chlorierte und polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe)?

Die Bodenzustandsinventur im Bezirk Murtal

1. Zielsetzung und gesetzlicher Auftrag

Das Steiermärkische landwirtschaftliche Bodenschutzprogramm hat das **Ziel**, ein für die Beurteilung des durch Schadstoffeintrag, Erosion und Verdichtung gegebenen Belastungsgrades landwirtschaftlicher Böden geeignetes ständiges Netz von Untersuchungsstellen zu schaffen und dort laufend Zustandskontrollen durchzuführen.

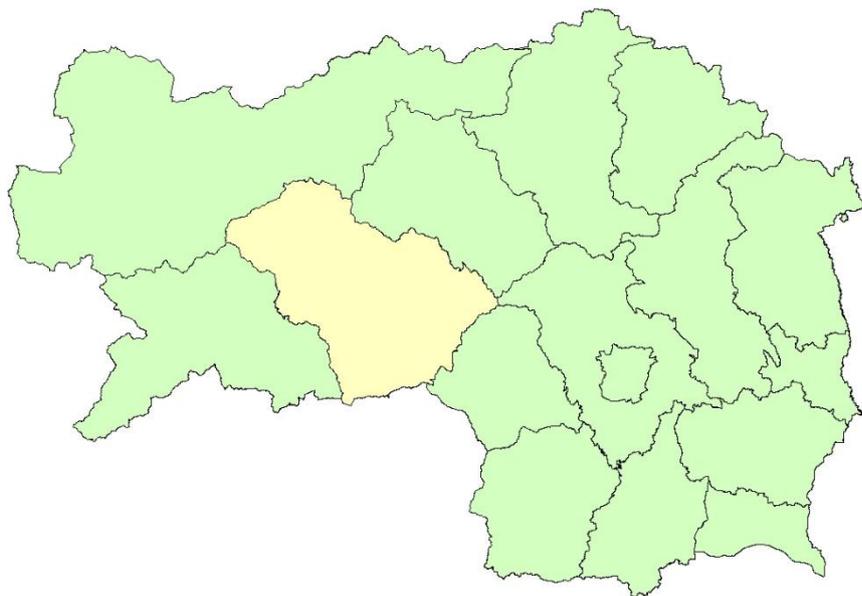


Der gesetzliche Auftrag dazu erfolgte 1987 durch das **Steiermärkische landwirtschaftliche Bodenschutzgesetz** (LGBl. Nr. 66 / 1987) und die **Bodenschutzprogrammverordnung** (LGBl. Nr. 87 / 1987).

Im Bezirk Murtal wurden in den Jahren 1986 - 2006 **84 Untersuchungsstandorte** im 4 x 4 km Rastersystem, sowie nach bodenkundlichen und umweltthematischen Kriterien eingerichtet.

Teile der Untersuchungsergebnisse wurden in den Bodenschutzberichten der vergangenen Jahre schon präsentiert.

Der vorliegende Bodenschutzbericht fasst die Ergebnisse aller Untersuchungen - in welche nun auch die bislang nicht diskutierten Ergebnisse von 29 Verdichtungsstandorte mit einfließen - zusammen und stellt so ein umfassendes Bild der Bodenzustandsinventur des Bezirks Murtal dar.



2. Durchführung der Untersuchungen

Vorgangsweise beim Aufbau des Untersuchungsnetzes

Rasterstandorte:

Mittels eines computergestützten Rechenmodells wurden als erster Schritt die genauen Koordinaten der Standorte berechnet. Für den Bezirk Murtal ergaben sich 110 Standorte im Rasterabstand von 3889 x 3889 m. Diese Punkte wurden dann mit größtmöglicher Genauigkeit in die Österreichkarte 1:50.000 eingezeichnet.

Nun wurden jene Punkte, welche laut Karte auf Waldböden fallen, ausgesondert und es ergab sich eine Soll - Anzahl von 38 Rasterstandorten, welche es von der Bodenzustandsinventur zu erfassen galt. Vier Standorte davon fallen in nicht beprobbares Gelände, sodass letztlich **34 Rasterstandorte** untersucht wurden. Die Bodenprobennahmen an diesen Untersuchungsstellen wurden 1992 begonnen und im Jahre 1996 (Wiederholungsprobennahmen) abgeschlossen.

Bei der Übertragung der Standorte von der Karte ins Gelände kann eine Genauigkeit von ca. 20 m angenommen werden.

Um den Vorteil eines Untersuchungsrasters (objektive Standortfixierung) im Vergleich zur Beprobung im Nichtrasterverfahren auszunützen, wurden bei Nichtbeprobbarkeit des ermittelten Standortmittelpunktes folgende Verlegungsregeln streng angewandt:

1. Verlegung nach Norden, Osten, Süden oder Westen um 50 m (die Reihenfolge der Verlegungsversuche ist einzuhalten!)
2. Verlegung nach Norden, Osten, Süden oder Westen um 100 m (ebenfalls in dieser Reihenfolge!)

Erst wenn all diese 8 Verlegungsversuche auch in nicht beprobbares Gelände führen, entfällt der Standort. Eine Verlegung des Standortes um z. B. 50 m nach Südost oder ähnliches, ist nicht zulässig!

Nichttrasterstandorte:

In den Jahren 1986 – 2006 wurden zur Abklärung spezieller Fragestellungen und um die Lücken im Untersuchungsnetz, welche durch den Wegfall von Standorten (Wald, nicht beprobbares Gelände) entstanden sind zu schließen, **50 Nichttrasterstandorte** untersucht.

In Summe wurden im Bezirk Murtal 84 Untersuchungsstandorte eingerichtet.

Probennahme

Das Steiermärkische landwirtschaftliche Bodenschutzprogramm sieht vor, dass die Untersuchungsstandorte im ersten Jahr in mehreren Bodenhorizonten (Tiefenstufen) untersucht werden und dass im Folgejahr zur Absicherung dieser Ergebnisse eine Kontrollanalyse des Oberbodens stattfindet. Auf diese Weise wurden an den 84 Untersuchungsstandorten im Bezirk Murtal **328 Bodenproben** untersucht.

Geländearbeit:

Die Probennahmefläche stellt einen Kreis mit einem 10 m Radius dar, dessen Mittelpunkt exakt vermessen und markiert wird. Bei der **Erstprobennahme** werden - wenn möglich - aus 4 Profilgruben des Kreises an den Stellen der Haupthimmelsrichtungen Proben aus drei Bodenhorizonten entnommen (Acker: 0-20, 20-50, 50-70 cm und sonstige Flächen: 0-5, 5-20, 20-50 cm). Die 4 Einzelproben eines Bodenhorizontes werden zu einer Mischprobe vereint. Der Bodenkundler erstellt eine bodenkundliche Profilbeschreibung und erhebt geländespezifische Daten (Neigung, Morphologie, Wasserverhältnis, etc.).

Bei der **Wiederholungsprobennahme** im darauffolgenden Jahr wird an den Stellen der 4 Nebenhimmelsrichtungen am Probennahmekreis eine Probe des Oberbodens entnommen.



Bezeichnung der 84 Untersuchungsstandorte:

Erstprobennahme	Standortbezeichnung	Anzahl der Standorte
1986	KNI 1-10	10
1989	KNI 11	1
1992	KNI 12	1
1992	JUA 1-10, JUB 1-8, KNA 1-10, KNB 1-5	33*
1995	KNB 6	1*
1997	VFD 1, 2 + 6, VFE 1-6	9
2003	JUX 1-18	18
2004	KNX 1-10	10
2006	JUX 19	1

* Rasterstandorte

Durch die Wahl dieser Kurzbezeichnungen der Untersuchungsstandorte ist die Anonymität der Grundstückseigentümer bzw. Pächter gewährleistet.

Standortnutzung

Verteilung der Nutzungsformen im Bezirk Murtal:

Bodenfläche nach Nutzung in ha:

Jahr (abs.)	Landwirtschaftliche Nutzfläche*	Forstwirtschaftliche Nutzfläche	Sonstige Flächen	Gesamtfläche**
1981	62.137,88	94.335,54	10.975,03	167.448,45
1991	58.470,77	96.485,59	12.545,39	167.501,75
2000	51.753,20	104.054,58	11.682,97	167.490,75
2011	47.399,46	105.330,18	14.848,61	167.578,25

* inkl. Gärten und Almen

** Flächenänderungen vermessungstechnisch bedingt.

Bodenfläche nach Nutzung (% - Anteil):

Jahr (%)	Landwirtschaftliche Nutzfläche*	Forstwirtschaftliche Nutzfläche	Sonstige Flächen
1981	37,1	56,3	6,6
1991	34,9	57,6	7,5
2000	30,9	62,1	7,0
2011	28,3	62,9	8,8
Steiermark gesamt (2011)	32,7	57,3	10,0

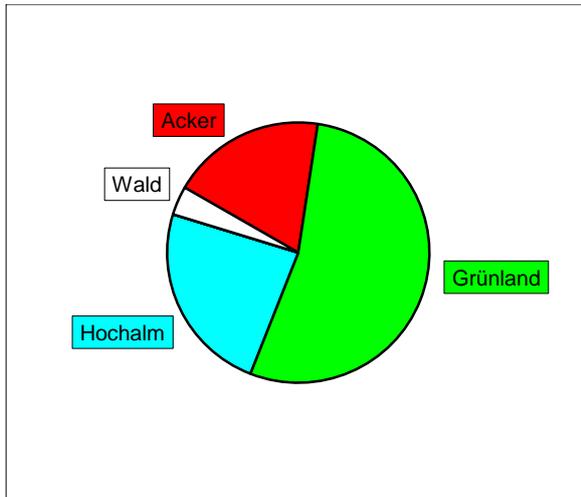
* inkl. Gärten und Almen

Derzeit werden etwa 28 % der Bezirksfläche von Murtal landwirtschaftlich genutzt, die forstwirtschaftlich genutzte Fläche liegt bei 63 %. Die sonstigen Flächen (ca. 9 %) betreffen Gewässer und verbaute Bereiche.

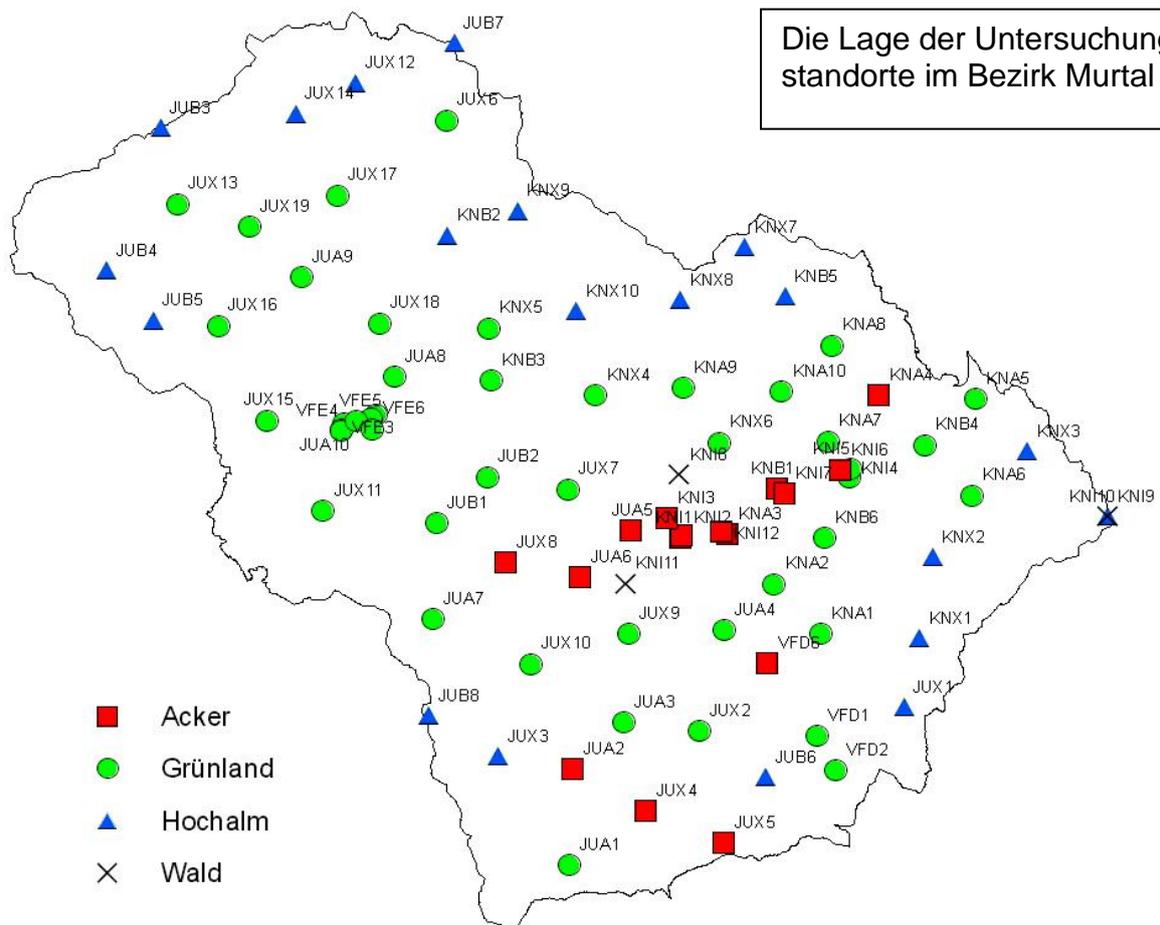
Aus dem zeitlichen Vergleich erkennt man, dass die landwirtschaftliche Nutzfläche zu Gunsten des Waldes ständig abnimmt.

Quelle: Statistisches Bezirkssystem (STABIS) des Amtes der Steierm. Landesregierung

Die landwirtschaftliche Nutzung an den Untersuchungsstandorten des Bodenschutzprogrammes:



54 % Grünland (45 Standorte)
 19 % Acker (16 Standorte)
 24 % Hochalm (20 Standorte)
 4 % Wald (3 Standorte)



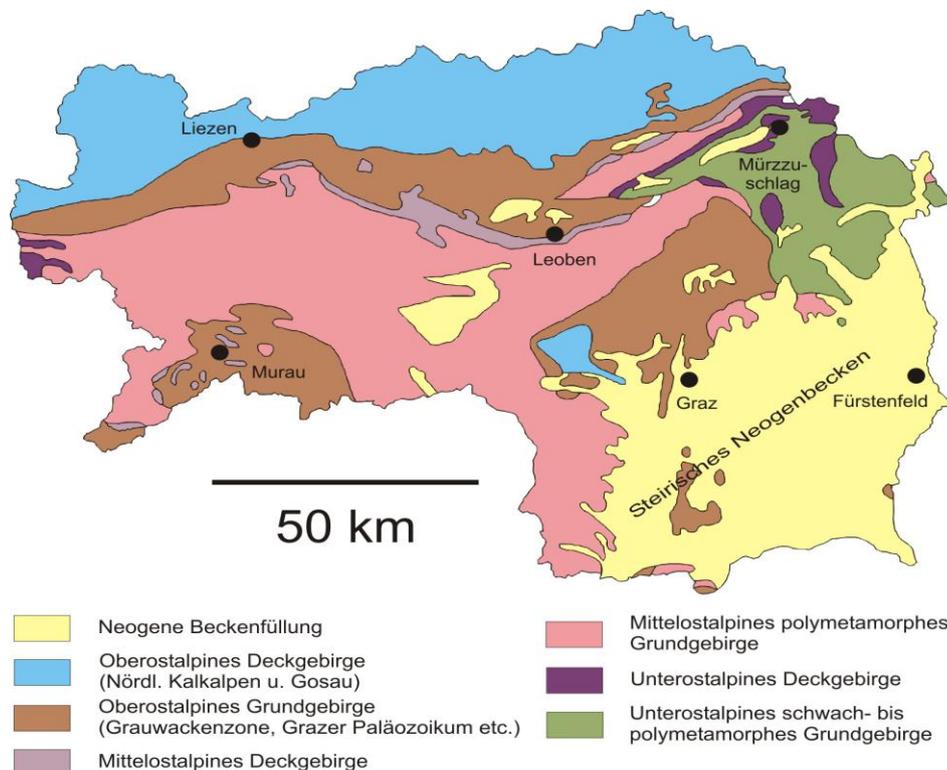
Folgende Standorte sind im Laufe der letzten Jahre ausgefallen und stehen für eine Bodendauerbeobachtung nicht mehr zur Verfügung:

KNI 1, KNI 2, KNI 5, KNI 6, KNI 8, KNI 10, KNI 11, KNI 12 und JUB 8.

3. Geologie

Die Geologie der Steiermark

Geologie ist die Wissenschaft, die sich mit dem Aufbau und der Entwicklungsgeschichte unserer Erde beschäftigt. Als beschreibende Naturwissenschaft versucht sie durch Untersuchung der Gesteine deren Genese in Raum und Zeit zu erfassen und zu erklären. Durch Beobachten und Vergleichen werden physikalische Prozesse der Gegenwart auf Strukturen in Gesteinen übertragen und interpretiert. Die Plattentektonik gilt als Motor der endogenen Prozesse und beeinflusst auch die exogene Formgebung und damit die morphologische Gestaltung unserer festen Erde mit. Die Paläontologie, als Wissenschaft mit der Entwicklungsgeschichte des Lebens auf der Erde befasst, trägt wesentlich zum Verständnis der Entwicklungsabläufe auf der belebten Erde bei und bringt diese in einen relativen zeitlichen Zusammenhang. Sie liefert auch Aussagen zu ehemaligen ökologischen Gegebenheiten, hilft uns Bilder urzeitlicher Landschaften zu entwerfen und liefert Antworten bei rohstoffwirtschaftlichen Fragestellungen.



Die geologische Einteilung der Steiermark erfolgt primär nach tektonischen Einheiten. Dabei werden Gesteinseinheiten zusammengefasst, die im Laufe der Erdgeschichte entstanden sind und bei großen Bewegungen in der Erdkruste zu bestimmten Erdzeitaltern transportiert wurden. Vor allem die alpidische Gebirgsbildung - die Annäherung der europäischen und afrikanischen Kontinentalplatten - ist ausschlaggebend für die heutige Anordnung der geologischen Baueinheiten. Der komplizierte geologische Aufbau des Alpenkörpers spiegelt eine wechselvolle erdgeschichtliche Entwicklung wider, an dessen Erforschung noch intensiv gearbeitet wird.

Ein kompliziert verfalteter und übereinander geschobener Stapel von mächtigen Gesteinsdecken wird in unserem Bundesland durch drei große Ostalpen – Deckensysteme gegliedert. Diese Einheiten werden in den inneralpinen Talungen (z.B. Mur-, Mürztal)

und im Steirischen Becken von erdgeschichtlich jungen Ablagerungsgesteinen (Sedimente) überlagert.

Als tiefste Einheit (Unterostalpin) werden in der Steiermark umgewandelte (metamorphe) Gesteine des Erdaltertums zusammengefasst. Diese Gesteine entstanden vorwiegend im Erdaltertum und bilden die geologische Basis der Fischbacher Alpen und des Jogllandes. Neben ehemaligen Sedimentgesteinen findet man hier auch magmatische Gesteine, die im Zuge von Gebirgsbildungsprozessen durch erhöhte Druck- und Temperaturbedingungen umgewandelt (metamorph) wurden und heute als Glimmerschiefer und Grogneis vorliegen.

Darüber liegt der mittelostalpine Deckenstapel (Mittelostalpin). Zu dieser Einheit gehören auf steirischer Seite die Gebirgszüge der Niederen Tauern, Seetaler Alpen, Koralpe, Gleinalpe, Stubalpe, Rennfeld und das Kristallin von St. Radegund. Auch hier treten überwiegend Umwandlungsgesteine (Kristallingesteine), wie beispielsweise Glimmerschiefer, Marmor, Amphibolit, Gneis auf.

Der höchsten Deckeneinheit (Oberostalpin) werden neben den Nördlichen Kalkalpen, der Grauwackenzone (ein südlich anschließender schmaler Streifen) auch die Gesteine des Grazer Berglandes und der Umgebung von Voitsberg, Turrach sowie Sausal und Remschnigg zugeordnet. Während die Sedimente der Nördlichen Kalkalpen und der Kainacher Gosau aus dem Erdmittelalter (Mesozoikum) stammen, werden die teilweise erzführenden Ablagerungen des oberostalpinen Grundgebirges in das Paläozoikum (Erdaltertum) gestellt.

In der Süd- und Oststeiermark werden die bisher genannten Einheiten von Ablagerungsgesteinen aus der Erdneuzeit (Känozoikum) überlagert. Diese sedimentäre Entwicklung, in die auch Vulkangesteine eingeschaltet sind, dokumentiert eine wechselvolle Bildungsgeschichte im Steirischen Becken - eine Randbucht des Pannonischen Beckens am Ostrand des Alpenbogens. Seine nördliche und westliche Umrahmung bilden geologisch mannigfaltige Gesteine des Erdaltertums wie Kristallingesteine (Wechsel, Raabalpen, Muralpen, Koralpen) und Karbonatgesteine des Grazer Raumes. Eine Gliederung des Steirischen Beckens erfolgt durch die N-S verlaufende Mittelsteirische Schwelle, die durch die Bergzüge Plabutsch-Sausal-Poßruck obertägig markiert ist. Die NNE-SSW-verlaufende Südburgenländische Schwelle trennt das Steirische vom Pannonischen Becken. Durch diese Aufragungen des Untergrundes kam es zu verschiedenen Entwicklungen in den Teilbecken, die sich nicht nur in der unterschiedlichen Sedimentmächtigkeit wie zum Beispiel 800 m tiefes Weststeirisches und um 4.000 m tiefes Oststeirisches Becken dokumentieren. Die Bildung dieser Becken und die damit in Zusammenhang stehende gleichzeitige Verfüllung begann vor ca. 20 Millionen Jahren. Als Sedimente kommen Sande, alternierend mit Tonen und Kiesen, vor. Diese Abfolge begründet sich auf den Wechsel von marinen, limnischen und fluviatilen Ablagerungsmechanismen.

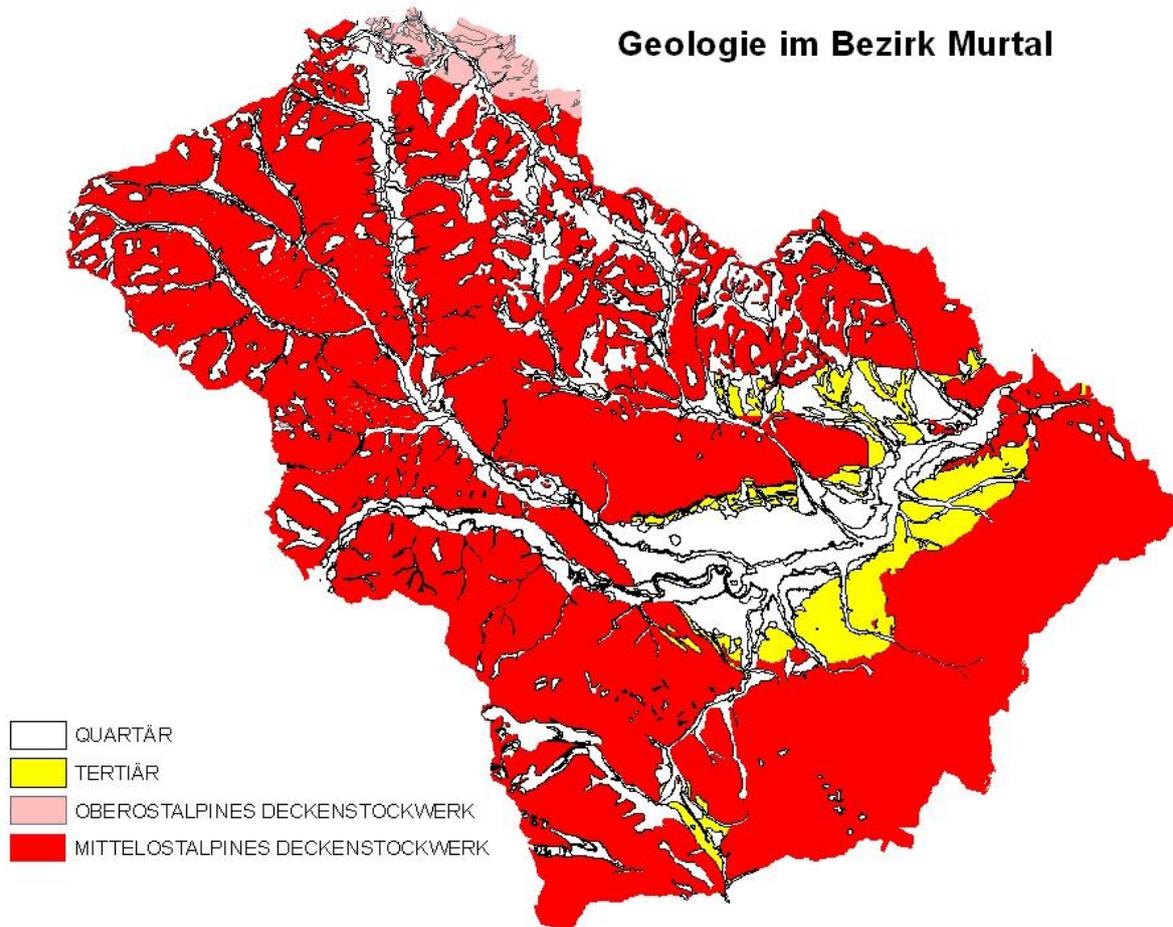
Die quartären Ablagerungen umfassen Bildungen der letzten 2,6 Millionen Jahre. Den größeren Anteil hat das durch einen klimatischen Wechsel von Kalt- und Warmzeiten charakterisierte Pleistozän, die letzten 10.000 Jahre entfallen auf die geologische Jetztzeit, das Holozän.

Während der Kaltphasen des Pleistozäns baute sich in den Alpen eine mächtige Vergletscherung, ein so genanntes Eisstromnetz, auf. Im Bereich des Randgebirges (Steirisches Randgebirge, Wechsel) kam es nur noch zur Ausbildung von Kar- und kurzen

Talgletscherzungen. Außerhalb des glazialen Gebietes herrschte im Pleistozän glazifluviale bzw. rein periglaziale Morphodynamik.

Känozoikum (Erdneuzeit)	2,6	Quartär	5,3	Pliozän	23,8	Neogen	23,8	Miozän	7,1	Pontium
	23,8	Neogen							23,8	Miozän
			13,6	Sarmatium						
			16,4	Badenium						
			17,3	Karpatium						
			18,0	Ottangium						
	65	Paläogen								
Mesozoikum (Erdmittelalter)	142	Kreide	<p>Geologische Zeittafel (in Millionen Jahren)</p> <p><u>Beitrag von:</u> Dr. Ingomar Fritz, Landesmuseum Joanneum – Geologie & Paläontologie, Graz</p>							
	205	Jura								
	250	Trias								
Paläozoikum (Erdaltertum)	290	Perm								
	354	Karbon								
	417	Devon								
	443	Silur								
	495	Ordovizium								
545	Kambrium									
Präkambrium	4600									

Geologie im Bezirk Murtal



	QUARTÄR
	TERTIÄR
	OBEROSTALPINES DECKENSTOCKWERK
	MITTELSTALPINES DECKENSTOCKWERK

Karte: GIS

Die geologischen Großräume im Bezirk Murtal:

Quartär: In diesen Bereich fallen jene geologischen Ereignisse, welche sich in den letzten 2,6 Millionen Jahren ereignet haben. Im Wesentlichen handelt es sich um die Veränderungen der Erdoberfläche durch die 4 Eiszeiten Günz, Mindel, Riß und Würm, sowie um Ablagerungen und Veränderungen aus jüngster Zeit.

Dazu zählen: Terrassensedimente, Moränen, Hangschutt, Material der Schwemmkegel und Talböden, Moore und anthropogene Ablagerungen (Halden, Deponien).

Tertiär: Dieser geologische Großraum umfasst die Veränderungen der Erdoberfläche aus dem Zeitraum von 2,6 - 65 Millionen Jahren (Paläogen + Neogen).

Die Gesteinsformationen des **mittel- und oberostalpinen Deckenstockwerkes** stammen aus wesentlich älteren geologischen Zeiträumen.

Kalkalpen: Diese geologische Zone wurde aus Ablagerungen der Triaszeit (vor ca. 180 - 230 Millionen Jahren) gebildet, vom Kristallinsockel abgeschert und ortsfremd im Norden der Steiermark abgelagert.

Zu den Gesteinen dieses Großraumes zählen Kalke und Dolomite.

Die Schichten der **Gosau** wurden ebenfalls in diesen geologischen Großraum mit einbezogen. Sie stammen aber aus jüngeren Ablagerungen der Oberkreide (vor ca. 65 - 100 Millionen Jahren). Geografisch handelt es sich um kleinere Bereiche innerhalb der Kalkalpen und im Bezirk Voitsberg.

Teilweise werden die Kalkalpen von **Werfener Schichten** unterlagert.

Paläozoikum: Dazu zählen geologische Formationen aus der Zeit des Erdaltertums von 250 - 545 Millionen Jahren. In der Steiermark handelt es sich um die Gebiete des Voitsberger- und Grazer Paläozoikums, sowie kleinerer Bereiche im Sausal.

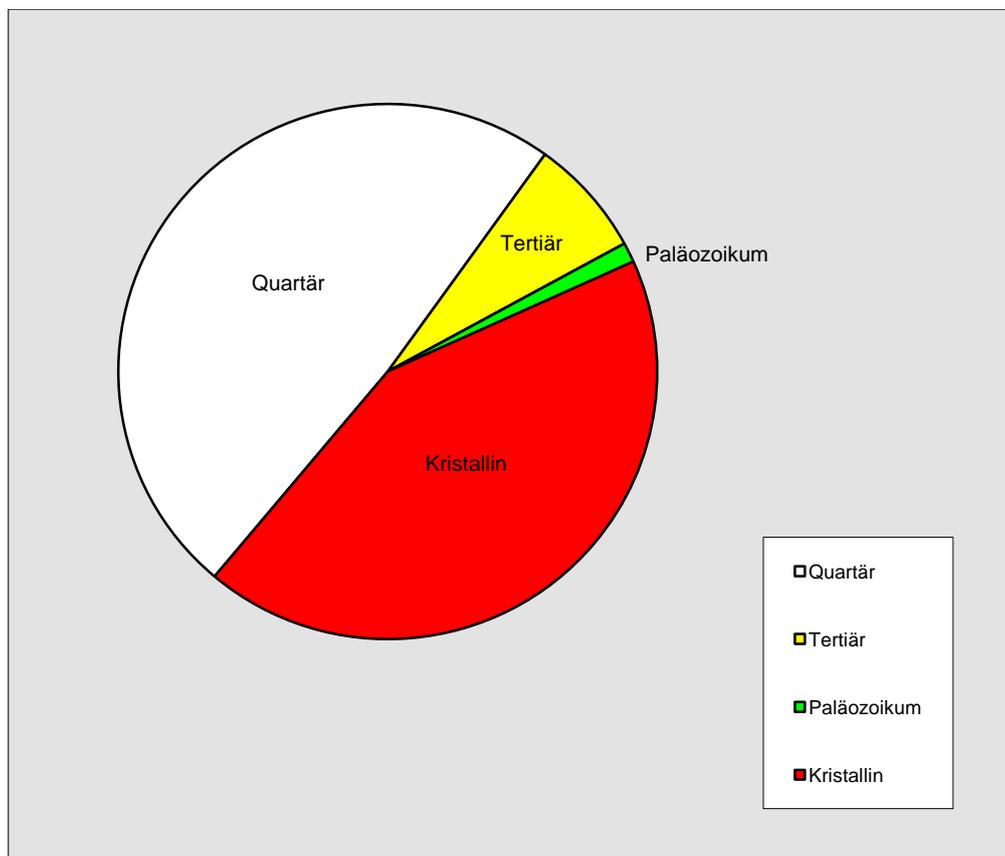
Ebenfalls aus diesem Zeitraum stammt die **Grauwackenzone** (GWZ). Ihre Gesteine sind sehr erzeich und sie erstreckt sich im Wesentlichen im Bereich zwischen den Kalkalpen und dem kristallinen Großraum.

Kristallin: Die Gesteine dieses geologischen Großraumes entstammen der frühesten Erdgeschichte, wurden aber im Laufe der Erdentwicklung laufend umgeformt und verändert (Metamorphose).

Die Verteilung der 84 Standorte des Bodenschutzprogrammes hinsichtlich der geologischen Großräume:

Geologischer Großraum	Standortbezeichnung	Anzahl Standorte
Quartär	JUA 5, 6 + 8, JUB 1 + 2, JUX 6, 8, 11, 13, 14, 16, 17 + 18, KNA 1, 3, 4 + 7, KNB 1, 2, 3, 4 + 6, KNI 1, 2, 3, 4, 5, 6, 11 + 12, KNX 4, 6 + 9, VFD 1, 2 + 6, VFE 1, 2, 3, 4 + 6	41
Tertiär	JUA 4, JUX 4, KNA 2, 9, + 10, KNI 7	6
Paläozoikum	JUB 7	1
Kristallin	JUA 1, 2, 3, 7, 9 + 10, JUB 3, 4, 5, 6 + 8, JUX 1, 2, 3, 5, 7, 9, 10, 12, 15 + 19, KNA 5, 6 + 8, KNB 5, KNI 8, 9 + 10, KNX 1, 2, 3, 5, 7, 8 + 10, VFE 5	36

Verteilung der untersuchten Standorte in den geologischen Großräumen:



4. Bodentypen

Böden, welche den gleichen Entwicklungszustand aufweisen, bilden einen **Bodentyp**. Er wird durch eine bestimmte Abfolge von Bodenhorizonten (genetische Tiefenstufen) charakterisiert.

Die Entwicklung der Böden ist vom Ausgangsmaterial, von der Oberflächenausformung (Morphologie), der Wasserbeeinflussung, vom Klima, von der Vegetation, vom Bodenleben und vom menschlichen Einfluss abhängig. Besonders in den Tallandschaften wurden die ursprünglichen bodenkundlichen Verhältnisse durch Meliorationsmaßnahmen (Entwässerung) oft grundlegend verändert.

Man unterscheidet folgende Bodentypen:

Niedermoore:

Niedermoore entstehen bei der Verlandung von stehendem oder langsam fließendem Gewässer bei Vorhandensein eines bestimmten Pflanzenbestandes (Seggen, Schilf und Braunmoose). Aus diesen Pflanzen bildet sich Torf, der - besonders nach Entwässerung - durch Zersetzung und Vererdung (Einschwemmung, zum Teil auch Einwehung von Mineralstoffen) langsam zu Boden wird. Niedermoorböden sind relativ mineralstoffreich.

Anmoore:

Als Anmoore bezeichnet man sehr humusreiche Mineralböden, deren Humus unter sehr feuchten Bedingungen entstanden ist. Diese meist mittel- bis tiefgründigen Böden zeigen vor allem an nassen Standorten Gleyerscheinungen. Sie haben oft eine ungünstige Struktur und sind im Allgemeinen von mittelschwerer oder schwerer Bodenart. Ihr landwirtschaftlicher Wert hängt von den Wasserverhältnissen und davon ab, wie weit ihr Humus zu Anmoormull umgewandelt ist.

Im Bereich von Quellaustritten findet man fallweise kleinräumige Hangniedermoore.

Auböden:

Dies sind Böden, welche aus (jungem) Schwemmmaterial entstanden sind und die Aurdynamik (d. h. Wasserdurchpulsung in Abhängigkeit vom Wasser des dazugehörigen Gerinnes) aufweisen. Sie zeigen der Art ihrer Ablagerung entsprechend oft einen geschichteten Aufbau. Infolge ihres geringen Alters verfügen sie noch über einen hohen Mineralbestand.

Man unterscheidet: Rohauböden, Graue Auböden, Braune Auböden und Schwemmböden.

Gleye:

Unter einem Gley versteht man einen Mineralboden, in dem durch Grundwasser-Einfluss chemisch-physikalische Veränderungen eingetreten sind. Gleyhorizonte sind vor allem an den charakteristischen Flecken, oder an einer typischen Verfärbung des gesamten Horizontmaterials zu erkennen. Die Verfärbungen entstehen durch Sauer-

stoffmangel (Reduktion) und haben einen hellgrauen, blaugrauen, bläulichen oder grünlichen Farbton. Dort, wo das Grundwasser zeitweise oder ständig absinkt, dringt Luft ein (Oxidation) und eine meist fleckige rostbraune Verfärbung tritt ein. Sehr oft liegen ungünstige Strukturverhältnisse (Verdichtung) vor.

Da in Gleyhorizonten oft die Wurzelatmung völlig unterbunden ist, dringen Wurzeln nicht in diese Zonen ein. Die Gründigkeit des Bodens wird somit begrenzt, insbesondere wenn die Bodenverdichtung zusätzlich ein Eindringen der Wurzeln erschwert.

Man unterscheidet Typische Gleye, Extreme Gleye und Hanggleye.

Rendsinen und Ranker:

Wenn sich unmittelbar über festem oder aus großen Trümmern bestehendem Ausgangsmaterial ein deutlicher Humushorizont gebildet hat, spricht man - je nach der mineralogischen Zusammensetzung des Ausgangsmaterials - von Eurendsinen, Pararendsinen oder Rankern:

Eurendsinen:	vorwiegend aus Kalkgestein
Pararendsinen:	aus Kalkgestein und Silikaten
Ranker:	aus kalkfreiem Ausgangsmaterial

Beim Ranker sitzt der Humushorizont direkt am Muttergestein auf. In der landwirtschaftlichen Nutzung stellen derartige Böden ziemlich minderwertige, trockene Standorte dar.

Braunerden:

Dieser Bodentyp umfasst Böden, die infolge von Niederschlägen einer mehr oder weniger intensiven Verwitterung unterliegen. Dies lässt sich im Vorhandensein eines braunen Horizontes im Unterboden, dem B-Horizont, erkennen.

Je nach dem Ausgangsmaterial des B-Horizontes unterscheidet man Felsbraunerden, Lockersediment-Braunerden und Parabraunerden.

Podsole:

Podsol ist ein russischer Bauernname, der „Ascheboden“ bedeutet. Böden der Podsolgruppe enthalten nämlich unter der Humusaufgabe einen aschgrauen Bleichhorizont, der kaum organische Substanz enthält. Podsole entstehen durch kühles, niederschlagsreiches Klima, welches im Boden sogenannte Podsolierungsprozesse auslöst. Es handelt sich um stark saure Böden, welche kaum Nährstoffe enthalten und ein sehr schlechtes Speichervermögen besitzen.

Man unterscheidet Semipodsole und Typische Podsole.

Pseudogleye:

Enthält ein Boden einen nicht oder nur wenig durchlässigen Staukörper, so können über diesem Horizont Wasserstauungen auftreten. Der Staukörper kann dabei primär als geologische Schicht vorhanden sein, oder sich allmählich durch Einschlammung und Verdichtung gebildet haben. Die Staunässe, welche die über dem Staukörper liegende Stauzone ausfüllt, hat keinen durchgehenden Wasserspiegel und keine Verbindung mit dem tiefer liegenden Grundwasser. Sie tritt periodisch im Zusammenhang mit den Niederschlägen auf, sodass man von regelmäßigen feuchten und trockenen Phasen bzw. von Wechselfeuchtigkeit spricht.

Staunasse Böden, die im Unterboden typische Verfärbungen zeigen, gibt es in mannigfacher Ausbildung. Sie gelten im Allgemeinen bei Ackernutzung als ertragsunsicher, unter bestimmten Voraussetzungen bewirkt jedoch die Staunässe auch positive Effekte. Man unterscheidet Typische und Extreme Pseudogleye, Stagnogleye und Hangpseudogleye.

Reliktböden:

Unter diesem Überbegriff versteht man sowohl Böden, die schon in der Vorzeit, also unter wesentlich anderen Klimabedingungen als heute, entstanden sind und nun als Relikte vorliegen, als auch Böden, deren Ausgangsmaterial zwar bereits in der Vorzeit geprägt worden ist, die aber in der Erdgegenwart einer neuerlichen Bodenbildung unterworfen wurden. Diese Böden haben meist eine intensivere Farbe als die Böden anderer Typen.

Man unterscheidet: Braunlehm, Rotlehm (Terra Rossa), Roterde, Reliktpseudogley und Terra Fusca.

Atypische Böden:

Dazu zählen: **Ortsböden** (Farb-, Textur- und Strukturortsböden)

Gestörte Böden (Rest-, Kulturroh- und Rigolböden)

Schüttungsböden (Halden- und Planieböden, sowie Kolluvium und Bodensedimente)

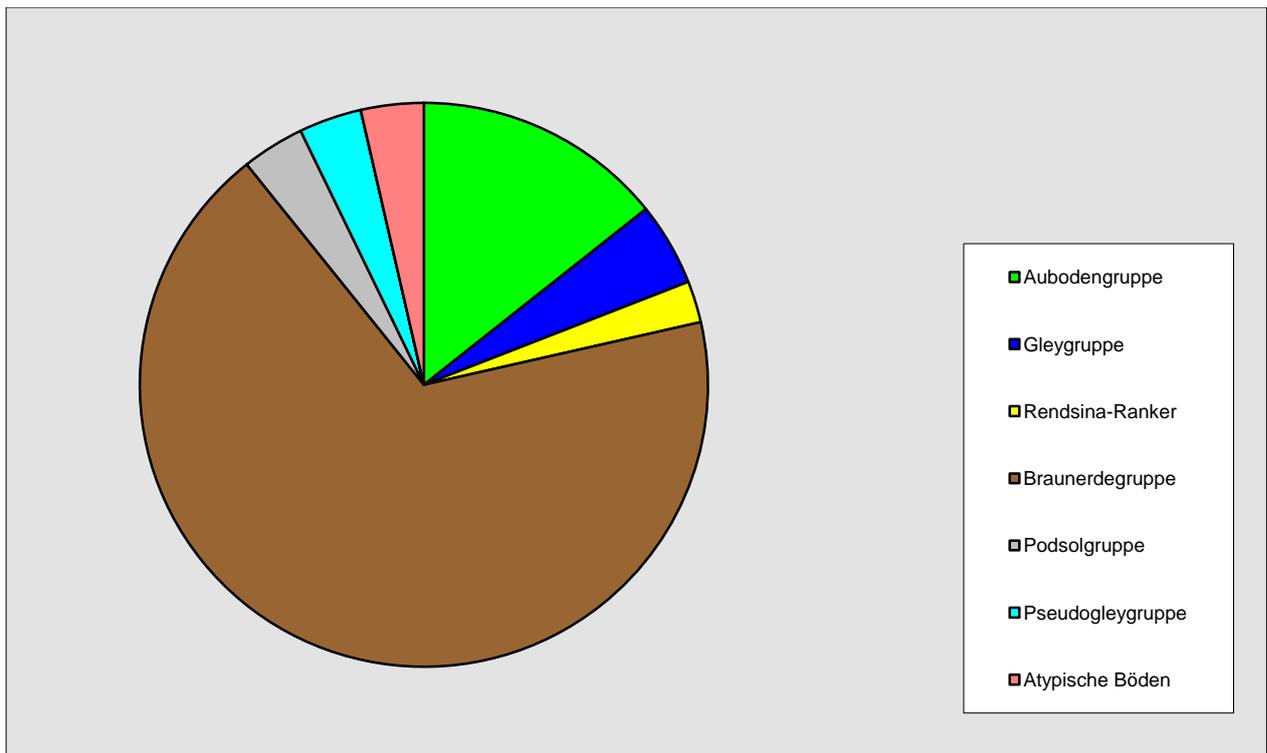
Quelle: Niederösterreichische Bodenzustandsinventur 1994.



Bodenprofil (vergleyte Lockersediment-Braunerde mit deutlicher Pflugsohle)

Die Verteilung der Bodentypengruppen der vom Bodenschutzprogramm erfassten Standorte:

Bodentypen	Standorte im Bodenschutzprogramm	
	Bezeichnung	Anzahl
Moorböden	---	0
Aubodengruppe	JUB 1, JUX 11, 13 + 16, KNB 4 + 6, KNI 6, KNX 4 + 6, VFD 1, VFE 4 + 6	12
Gleygruppe	JUA 4, KNA 10, KNB 1 + 3	4
Rendsina – Ranker	JUA 2, JUX 17	2
Braunerdegruppe	Alle übrigen Standorte.	57
Podsol	JUB 7, KNB 2, KNX 10	3
Pseudogleygruppe	KNA 9, KNI 7, KNX 9	3
Reliktbodengruppe	---	0
Atypische Böden	JUX 1, VFD 6, VFE 2	3
Summe:		84



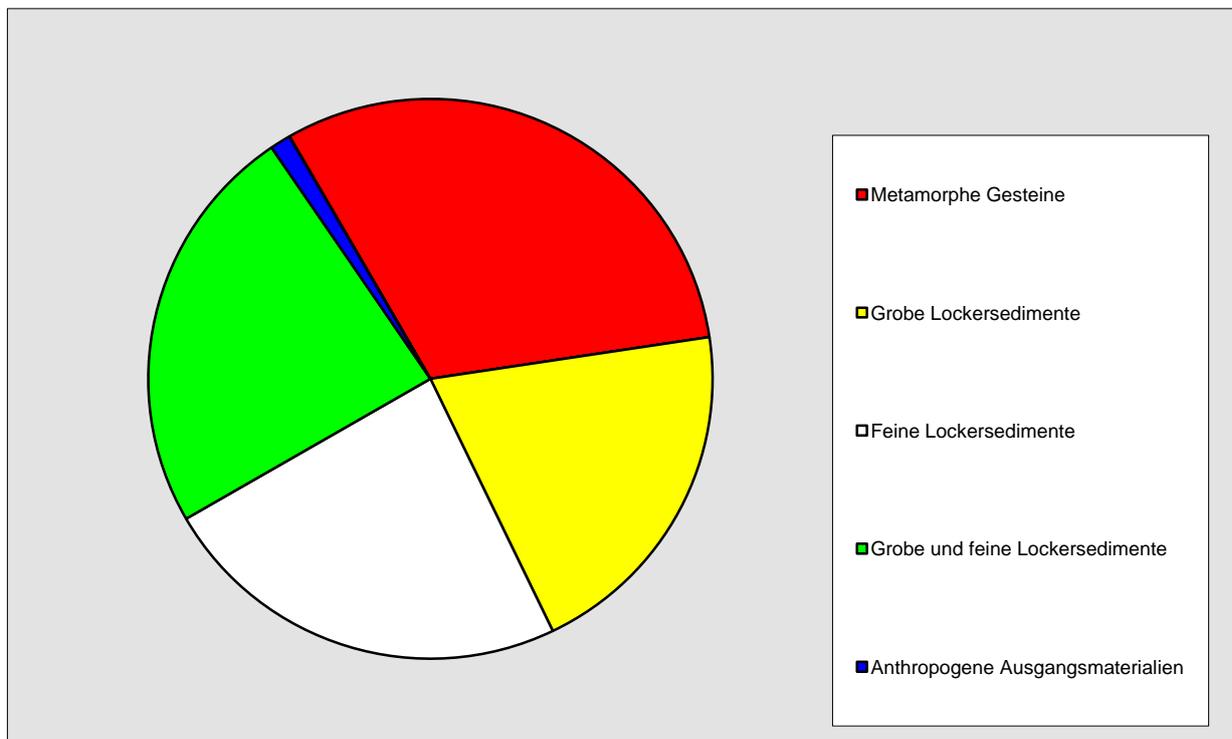
Verteilung der untersuchten Standorte des Bodenschutzprogrammes

5. Bodenbildendes Ausgangsmaterial

Nach der bundesweiten Empfehlung zur Vereinheitlichung der Vorgangsweise bei Bodenzustandsinventuren werden Böden folgenden bodenbildenden Ausgangsmaterialien zugeordnet:

Ausgangsmaterial	Standorte	Anzahl
Vulkanite	---	0
Metamorphe Gesteine	Alle übrigen Standorte.	26
Feste Sedimentgesteine	---	0
Grobe Lockersedimente	JUA 1 + 9, JUB 6 + 8, JUX 4, 17 + 19, KNA 8, KNB 2 + 5, KNI 8, 9 + 10, KNX 9, VFE 2, 3 + 5	17
Feine Lockersedimente	JUA 4 + 5, JUB 1, JUX 6, 8, 11 + 16, KNA 1, 2 + 10, KNB 3, 4 + 6, KNI 2, 3, 5, 7 + 12, VFE 4 + 6	20
Feine und grobe Lockersedimente	JUA 6 + 8, JUB 2, JUX 13, 14 + 18, KNA 3, 4, 7 + 9, KNB 1, KNI 1, 4, 6 + 11, KNX 4 + 6, VFD 1 + 2, VFE 1	20
Anthropogene Ausgangsmaterialien	VFD 6	1
Torf	---	0

Das bodenbildende Ausgangsmaterial der im Bezirk Murtal untersuchten Standorte besteht aus metamorphen Gesteinen, Lockersedimenten und einem Standort mit anthropogenen Ausgangsmaterialien (Holzkohle).



Das bodenbildende Ausgangsmaterial der untersuchten Standorte

6. Erosion

Geologen und Geographen verstehen unter Erosion die ausfurchende und einschneidende Wirkung des fließenden Wassers auf die Erdoberfläche, wodurch diese in Talformen und Rücken zergliedert wird.

Unter der **kulturbedingten** Erosion versteht man die vom Menschen ausgelöste Verlagerung von Bodenbestandteilen durch abfließendes Wasser. Der Einfluss des Menschen besteht dabei überwiegend in einer Beseitigung der natürlichen Pflanzengesellschaften. Eine ackerbauliche Landnutzung wirkt daher meist erosionsfördernd.

In der Steiermark waren bis etwa 1970 kaum Erosionsprobleme bekannt. Eine vielgliedrige Fruchtfolge, in der alle standortsüblichen Feldfrüchte Platz fanden, sorgte für die Bodengare. Relativ kleine, oft hangparallele Parzellen, Ackerterrassen auf steileren Hängen und Buschreihen an den Flurgrenzen hielten den Bodenabtrag in Grenzen. Erst als diese arbeitsaufwändige Landnutzung wegen wirtschaftlicher Zwänge aufgegeben werden musste und die Mechanisierung erheblich zunahm, wurde die Bodenerosion allmählich zur Gefahr für die nachhaltige Bodenfruchtbarkeit (Zeitschrift „Der Pflanzenarzt“, 1987).

Ursachen der Bodenerosion:

- Ausräumung der einst reich gegliederten Kulturlandschaft
- Inanspruchnahme guter Ackerlagen für Verbauung, Rohstoffgewinnung usw.
- Vereinfachung der Fruchtfolge bis zur Maismonokultur
- Wegfall von Stallmist und Leguminosen als Bodenverbesserer
- Befahren und Bearbeiten der Äcker mit schweren Geräten in zu feuchtem Zustand.

Eine **grobe Abschätzung der Erosionsgefährdung** der Untersuchungsstandorte des Bodenschutzprogrammes erfolgte entsprechend der nachstehenden Tabelle nach **Nutzungsart** und **Hangneigung**:

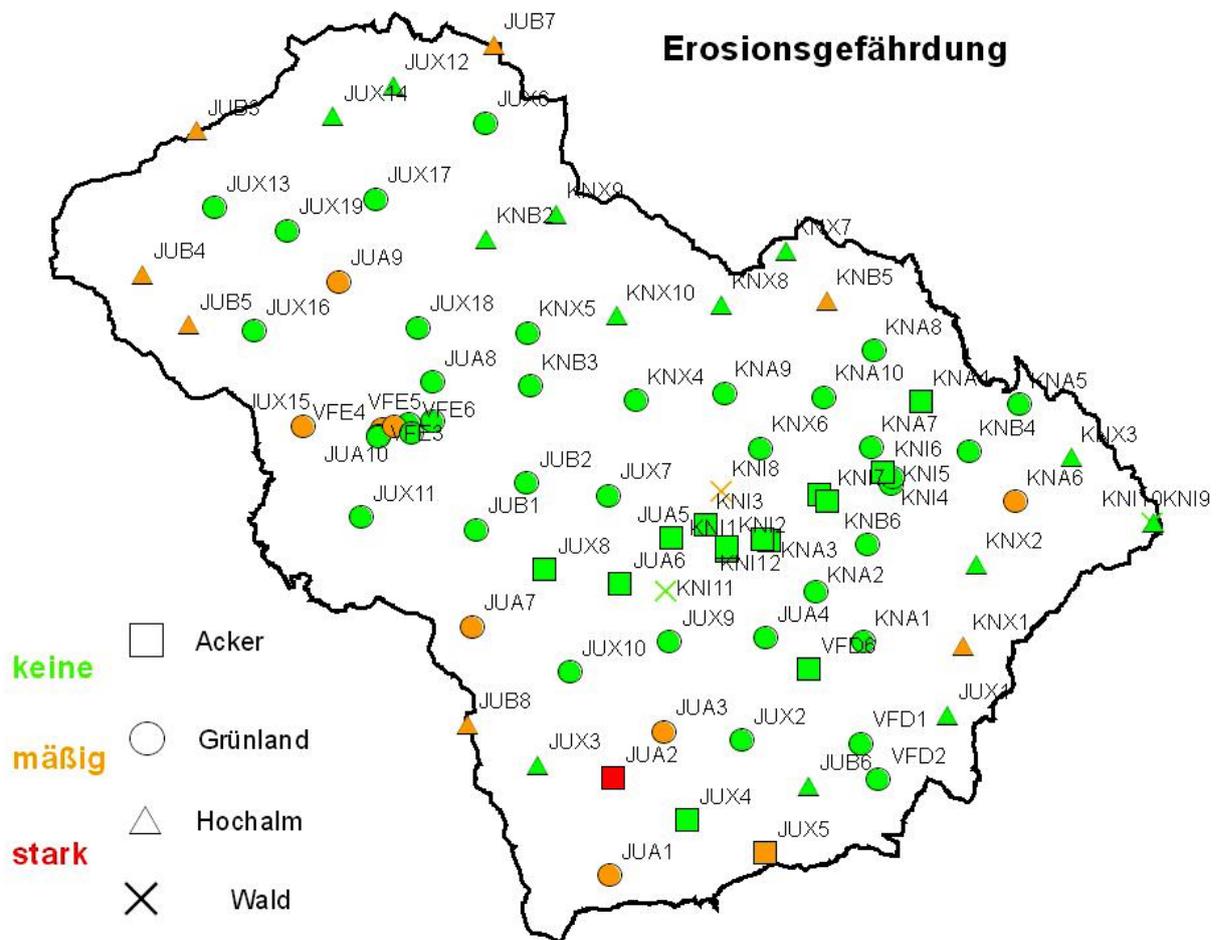
Erosionsgefährdung:	stark	mäßig	keine
Acker	> 10°	5 - 10°	0 - 4°
Wald	---	≥ 25°	0 - 24°
Grünland, Obstanlagen	---	≥ 20°	0 - 19°
Weinanlagen	---	≥ 10°	0 - 9°

Da nur ein ackerbaulich genutzter Untersuchungsstandort (**JUA 2**) mehr als 10° Hangneigung aufweist, ist auch nur diese eine Fläche als **stark** erosionsgefährdet eingestuft.

Von den übrigen 83 Untersuchungsstellen des Bodenschutzprogrammes im Bezirk Murtal sind nach dieser groben Abschätzung 17 Standorte **mäßig** stark erosionsgefährdet.

An den restlichen 66 Untersuchungsstandorten besteht **keine** Gefahr von Erosion.

Die Erosionsgefährdung der Untersuchungsstandorte im Bezirk Murtal:



Da die Bodenerosion auf lange Sicht die Bodenfruchtbarkeit zerstört und dadurch wertvolles, humoses mit Nährstoffen angereichertes Pflanzenmaterial verloren geht, liegt die **Eindämmung der Erosion** im Interesse jedes verantwortungsvollen Landwirtes. Nach Mayer (1998) ist auch in den nächsten Jahren zu erwarten, dass in der Steiermark jene Kulturen überwiegen werden, die am kostengünstigsten bei guten Roherträgen produzierbar sind. Dies werden weiterhin Reihenfrüchte wie Mais oder Ölkürbis sein, die besonders erosionsanfällig sind.

Durch **pflanzenbauliche** (Untersaaten und Eingrünung zwischen zwei Maisvegetationsperioden) und **landtechnische Maßnahmen** (nicht-wendende Bodenbearbeitung und minimale Saatbettbereitung) können Reihenkulturen weniger erosionsanfällig angelegt werden.

Fruchtfolgen mit hohem Bedeckungsgrad sind ebenfalls geeignet.

Auch die Anlage von Dauergrünland, die Stilllegung und die Aufforstung stellen in extremen Hanglagen Lösungsansätze dar.

7. Bodenverdichtung

Der ideale Zustand für unsere Kulturpflanzen ist ein garer Boden. Das Gegenteil von Bodengare ist die Bodenverdichtung. Dabei treten folgende Schadensbilder auf:

- Verlust der Krümelstruktur
- Verminderung des Porenvolumens, vor allem der Grobporen
- Gehemmte Wasserführung
- Gestörter Gasaustausch
- Beeinträchtigt Wurzelwachstum
- Reduziertes Bodenleben

Die **Ursachen der Bodenverdichtung** liegen einerseits in den natürlichen, geologisch-pedogenen Voraussetzungen (schluff- und tonreiche Sedimente), andererseits in anthropogenen Einwirkungen.

Zu den vom Menschen verursachten Einwirkungen zählen:

- Bodenbearbeitung (Einsatz von schweren Maschinen und Fahrzeugen, Bearbeiten und Befahren des Bodens im feuchten Zustand)
- Düngung (mineralische Düngung allein führt zu Humusabbau)
- Monokultur

Strukturschäden im Boden sind nicht irreparabel. Sie können durch gezielte standortsangepasste Bodenbewirtschaftung aufgehoben, oder von vornherein vermieden werden. Neben einer standortsangepassten Fruchtfolge sind vor allem der Bodenbearbeitung und der Wahl des optimalen Zeitpunktes der Bearbeitung große Beachtung zu schenken. Bei der Düngung ist darauf zu achten, dass einerseits die Kulturpflanzen ausreichend mit Nährstoffen versorgt werden und andererseits das Bodenleben gefördert wird. Dadurch werden günstige Voraussetzungen zur Erhaltung der Bodengare geschaffen (z.B. Gründüngung oder Stallmist ergänzt durch mineralischen Dünger).

Eine **grobe Abschätzung der Gefahr von Bodenverdichtung** an den Untersuchungsstandorten des Bodenschutzprogrammes erfolgte entsprechend der nachstehenden Tabelle nach **Nutzungsart** und **Bodenschwere** (abgeleitet aus dem Tongehalt des Bodens; siehe Seite 29):

Gefahr von Bodenverdichtung:	stark	mäßig	keine
Acker	mittlere und schwere Böden	leichte Böden	---
Grünland	---	mittlere und schwere Böden	leichte Böden
Sonderkulturen	---	alle	---

8. Die Ergebnisse der Bodenzustandsinventur

Die Ergebnisse der Untersuchungen des Bodenschutzprogrammes werden den betreffenden Grundstückseigentümern bzw. Pächtern schriftlich mitgeteilt.

Die Diskussion bzw. Präsentation der Untersuchungsergebnisse in der Öffentlichkeit erfolgt durch den jährlich erscheinenden Bodenschutzbericht und im Internet.

Die **Internet - Adresse** lautet:

www.bodenschutz.steiermark.at

Die Abfrage erfolgt mittels Hotlink-Werkzeug (Blitzsymbol) durch Anklicken des gewünschten Standortes in der Übersichtskarte (eventuell vorher Zoomfunktion verwenden).

Für jeden Standort sind

- die bodenkundliche Profilbeschreibung,
- die Analyseergebnisse aller untersuchten Parameter und
- eine verbale Beurteilung der Analyseergebnisse des Oberbodens

in übersichtlicher Form dargestellt.

Weitere vielfältige Informationen zum Thema Umweltschutz in der Steiermark sind im Landes-Umwelt-Informationssystem (LUIS) unter **www.umwelt.steiermark.at** abrufbar.



Übersicht Bodenschutzberichte

Seit dem Jahr **1988** wurde entsprechend der gesetzlichen Vorgabe dem Landtag Steiermark jährlich ein Bodenschutzbericht zur Kenntnis gebracht.

Bodenschutzberichte 1988 - 1997:

Die ersten zehn Jahre der Berichtslegung behandelten den damals aktuellen Stand der Untersuchungen des Bodenschutzprogrammes.

Bodenschutzbericht 1998 (Steiermark-Raster):

Die Ergebnisse der Bodenzustandsinventur im 4x4 km - Raster (392 Standorte). Erste Grundlagen für Beurteilungskriterien (Normalwerte, Analysenfehler).

Bodenschutzbericht 1999 (Potentielle Kontaminationsflächen):

Bodenbelastungen auf Grund von geologischen Besonderheiten und Umwelteinflüssen menschlichen Ursprungs (historischer Bergbau, Industrie, Verkehr, Tontaubenschießplätze).

Bodenschutzbericht 2000 (Die Variabilität von Bodenparametern):

Erste Ergebnisse zur Bodendauerbeobachtung (10-Jahreskontrolle von 109 Nichttrasterstandorten) und Ergebnisse des einjährigen Projektes "Untersuchungen zur zeitlichen und örtlichen Variabilität von Bodenparametern".

Bodenschutzberichte ab 2001:

Bezirksweise Zusammenfassung der Ergebnisse der Bodenzustandsinventur.

Jahr	Bodenzustandsinventur
2001	Bezirk Radkersburg
2002	Bezirk Leibnitz
2003	Bezirk Deutschlandsberg
2004	Bezirk Feldbach
2005	Bezirk Fürstenfeld
2006	Bezirk Hartberg
2007	Bezirk Murau
2008	Bezirk Weiz
2009	Bezirk Voitsberg
2010	Bezirke Graz und Graz-Umgebung
2011	Bezirk Mürzzuschlag
2012	Bezirk Murtal

Anforderung von Berichten:

Frau Mag. Dr. Gertrude Billiani

Tel.: 0316-877-6651

E-mail: gertrude.billiani@stmk.gv.at

Geplante Bodenschutzberichte:

- Weiterführung der bezirksweisen Bodenzustandsinventur
- Die Bodenzustandsinventur der Steiermark (Zusammenfassung)
- Diskussion ausgewählter Bodenparameter in der Steiermark
- Schwermetalle in Pflanzen.
- Ergebnisse der Bodendauerbeobachtung

Alle Bodenschutzberichte ab 1998 sind als pdf-File im Internet unter <http://www.umwelt.steiermark.at/cms/beitrag/10215574/2998692/> zugänglich.

Allgemeines

Die Untersuchung der Parameter wird gemäß der Bodenschutzprogrammverordnung durchgeführt, wobei die Analyse der chlorierten und polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe prinzipiell nur im Oberboden erfolgt und der jeweilige Unterboden nur bei Auffälligkeiten im Gehalt der Krume kontrolliert wird. Triazinherbizid-Rückstände werden nur an Ackerstandorten untersucht und die Bestimmung der Korngrößen (Sand-Schluff-Ton) erfolgt nur im Erstuntersuchungsjahr.

Sämtliche Bestimmungen beziehen sich auf den auf 2 mm Korngröße gesiebten, luft-trockenen Feinboden. Nur bei der Untersuchung auf Triazinrückstände wird das frische Probenmaterial verwendet und das Ergebnis nachträglich auf die Trockensubstanz (105°) bezogen.

Bei der Diskussion der Untersuchungsergebnisse werden in erster Linie die Mittelwerte der Oberböden (Erst- und Folgeuntersuchung) herangezogen. Die Ergebnisse der Unterböden werden erst bei speziellen Fragestellungen bzw. Auffälligkeiten im betreffenden Oberboden näher betrachtet.

Die Ergebnisse gelten streng genommen nur an der beprobten Untersuchungsfläche, welche ein Ausmaß von ca. 0,1 ha hat und repräsentieren den Bodenzustand zum Zeitpunkt der Probennahme.

Genauigkeit der Messergebnisse:

Jedes Messergebnis ist fehlerbehaftet (Bodenschutzbericht 1998, Seiten 26 ff). Die Angabe der Untersuchungsergebnisse ist daher folgendermaßen zu verstehen:

Messwert \pm Vertrauensbereich

Der Begriff „**Vertrauensbereich (VB)**“ wird statistisch definiert als die zweifache kombinierte Messunsicherheit, in welche alle Fehlerquellen von der Probenahme bis zur Endberechnung eines Untersuchungsparameters summarisch eingehen (in früheren Berichten wurde anstelle des Vertrauensbereiches der Begriff „Analysefehler“ verwendet).

Der Vertrauensbereich ist - egal ob man ihn absolut oder prozentuell ausdrückt - konzentrationsabhängig. Das heißt, der für einen Untersuchungsparameter angegebene Vertrauensbereich gilt nur für einen konkreten, engen Gehaltsbereich.

Die Berechnung des Vertrauensbereiches erfolgt üblicherweise aus der Standardabweichung von Mehrfachbestimmungen nach: $VB = 2 \times STABW$.

Da Untersuchungsdaten von Böden in der Regel eine sehr geringe temporäre Variabilität aufweisen (vergleiche Bodenschutzbericht 2000), wurden für die Berechnung des Vertrauensbereiches die Analysenergebnisse der Erst- und Wiederholungsuntersuchungen aller Bodenschutzstandorte herangezogen. Nach einer Ausreißereliminierung wurde die Ausgleichsgerade berechnet und der Vertrauensbereich für den Mediangehalt steirischer Böden ermittelt. Die nachstehende Tabelle ist eine Zusammenfassung dieser Schätzwerte für den Vertrauensbereich am Mediangehalt steirischer Böden.

Durchschnittsgehalte im Oberboden und Vertrauensbereiche (VB):

Parameter	Einheit	Mediangehalte (Murtal)	Mediangehalte (Steiermark)	Vertrauensbereich (geschätzt)
Sand	%	43,00	35,00	2,10*
Schluff	%	42,50	48,00	2,94*
Ton	%	11,00	16,00	2,35*
Humus	%	7,55	6,15	0,95
P2O5	mg/100g	5,50	6,00	3,14
K2O	mg/100g	17,70	16,00	5,97
pH-Wert	---	4,95	5,43	0,24
CaCO ₃ > 0	%	0,25	0,20	0,09
CaKat	mg/100g	167,50	242,50	37,88
MgKat	mg/100g	18,25	24,00	5,46
KKat	mg/100g	12,78	12,00	5,37
NaKat	mg/100g	1,23	1,20	0,50
Mg	mg/100g	14,38	17,00	3,45
Bor	mg/kg	0,30	0,38	0,30
EDTA-Cu	mg/kg	4,22	5,30	1,01
EDTA-Zn	mg/kg	7,53	7,45	2,43
EDTA-Mn	mg/kg	180,50	299,50	56,36
EDTA-Fe	mg/kg	678,50	538,25	128,81
Fluor	mg/kg	0,42	0,49	0,15
Cu	mg/kg	25,73	25,13	3,49
Zn	mg/kg	98,20	94,95	11,73
Pb	mg/kg	30,12	27,44	4,06
Cr	mg/kg	46,13	39,93	5,86
Ni	mg/kg	27,83	26,35	3,33
Co	mg/kg	13,78	12,70	1,66
Mo	mg/kg	1,00	0,89	0,13
Cd	mg/kg	0,27	0,28	0,06
Hg	mg/kg	0,13	0,13	0,04
As	mg/kg	9,07	11,55	1,70
PAH-Summe	µg/kg	64,18	65,00	26,08

* Da die Bestimmung der drei Korngrößenfraktionen nur bei der Erstprobennahme erfolgte, wurde der Vertrauensbereich der Parameter Sand, Schluff und Ton aus den Ergebnissen von Ringversuchen geschätzt (ohne Probenahmefehler).

Die Tabelle zeigt einen Vergleich der **Mediangehalte** der untersuchten Parameter in den Oberböden aller 1.000 Untersuchungsflächen in der Steiermark und der Untersuchungsstandorte im Bezirk Murtal, sowie die geschätzten Vertrauensbereiche beim Mediangehalt der Steiermark.

Die Abweichungen der Durchschnittsgehalte der Böden im Bezirk Murtal von jenen der Steiermark sind Großteils auf geogene Ursachen und nutzungsbedingte Unterschiede (höherer Grünlandanteil) zurückzuführen. Auf Details wird in der folgenden Diskussion der Parameter näher eingegangen.

Allgemeine Bodenparameter und Nährstoffe:

Zur Beurteilung der Untersuchungsergebnisse werden in erster Linie die " Richtlinien für sachgerechte Düngung" - 6. Auflage des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft von 2006 herangezogen.

Die Hochalmstandorte, sowie die forstwirtschaftlich genutzten Standorte wurden näherungsweise wie Grünland beurteilt.

Sand, Schluff, Ton:

Die Bestimmung dieser drei Korngrößenfraktionen erfolgt laut Bodenschutzprogrammverordnung nur im Erstbeprobungsjahr und wird aus analytischen Gründen nur bis zu einem Humusgehalt von maximal 15 % durchgeführt.

Allgemeines:

Die Korngrößenverteilung im Boden hat einen großen Einfluss auf Ertragsfähigkeit, Bearbeitbarkeit und Filtervermögen des Bodens. Die grobe Einteilung des mineralischen Bodenmaterials in Sand (63 - 2000 μm), Schluff (2 - 63 μm) und Ton (< 2 μm) ermöglicht eine Beurteilung von wichtigen Bodeneigenschaften, wie zum Beispiel der **Bodenschwere**:

„Schwerer“ Boden: Tongehalt: > 25%

„Mittlerer“ Boden: Tongehalt: 15 - 25 %

„Leichter“ Boden: Tongehalt: < 15%

Böden mit einem hohen Tonanteil besitzen eine große Filterkapazität, was für das Bindevormögen von Schadstoffen günstig ist, andererseits aber die Bearbeitbarkeit erschwert. Umgekehrtes gilt für Böden mit einem hohen Sandanteil, sodass Schluff- und Lehmböden mittleren Tongehaltes bei gutem Gefüge die günstigste Konstellation chemischer und physikalischer Eigenschaften darstellen.

Die Bodenschwere ist auch ein wichtiger Einflussfaktor bei der Beurteilung der Nährstoffversorgung mit Kalium, Magnesium und Bor sowie zur Charakterisierung des anzustrebenden Mindesthumusgehaltes und Säuregrades im Boden.

Die Bestimmung der Korngrößen erfolgt nach ÖNORM L1061-2.



Untersuchungsergebnisse:

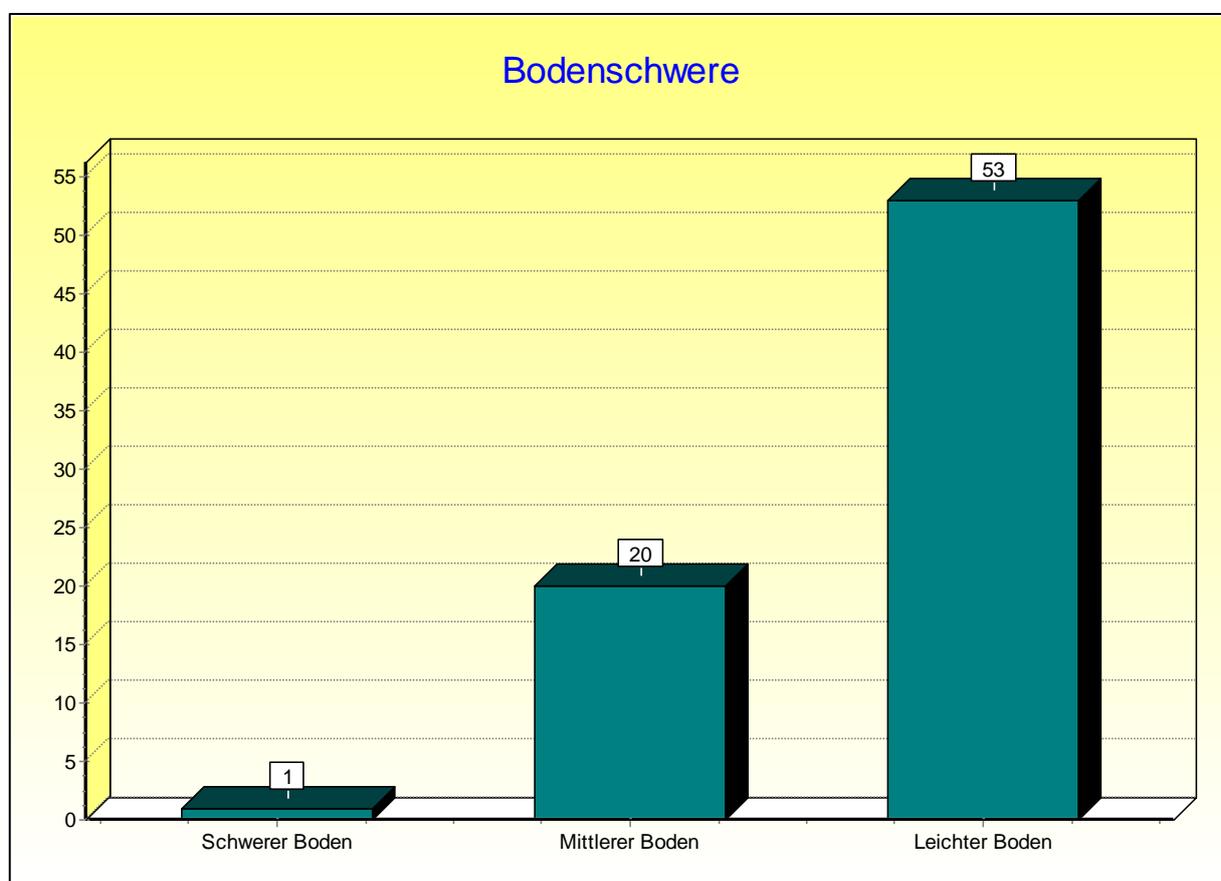
Anzahl der Standorte in den einzelnen Bewertungsklassen der **Bodenschwere** im Bezirk Murtal:

Bodenschwere	Anzahl Standorte		
	„schwer“	„mittel“	„leicht“
Grünland	1	14	18
Acker	-	2	3
Hochalm	-	3	-
Wald	-	1	-
Alle Standorte in MT in %	1 %	27 %	72 %
Steiermark in %	13 %	45 %	42 %

→ Die Verteilung der Bodenschwere im Bezirk Murtal in den drei Bewertungsklassen weist gegenüber dem Landesschnitt einen deutlich höheren Anteil an leichten Böden auf.

Zehn Wald- und Hochalmstandorte konnten nicht untersucht werden, da ihr Humusgehalt über 15 % liegt.

Der Grünlandstandort **KNA 10** ist dem speziellen Bodentyp eines **Lehmbodens** mit einem Tongehalt zwischen 25 und 40 % zuzuordnen. Als **Lehm** werden generell Böden mit ungefähr gleichmäßigen Anteilen aller drei Korngrößenfraktionen (Sand, Schluff und Ton) bezeichnet. Der Grünlandstandort **VFD 1** ist ein sogenannter **Sandboden** mit einem Sandgehalt über 70 %.



Anzahl der Standorte in den Bewertungsklassen der Bodenschwere

Humus:

Allgemeines:

Der Humusgehalt bzw. die organische Substanz eines Bodens ist definiert als die Gesamtheit der abgestorbenen pflanzlichen und tierischen Stoffe sowie deren Umwandlungsprodukte in und auf dem Boden.

Humus zählt zu den wichtigsten Bestandteilen eines Bodens. Er beeinflusst das Wasser-, Nährstoff- und auch Schadstoffspeichervermögen ebenso positiv, wie die Pufferkapazität oder die Strukturstabilität. Humus ist deshalb nicht nur ein wesentlicher Faktor der Bodenfruchtbarkeit, er hat auch einen bedeutenden Anteil an der Schutzfunktion des Bodens für die Nahrungskette und das Grundwasser.

Der Humusanteil des Bodens ist ständigen Um-, Auf- und Abbauprozessen unterworfen und daher eine veränderliche und beeinflussbare Größe. Huminstoffe können mit Tonpartikeln relativ starke Bindungen eingehen. Dadurch entsteht im Boden ein stabiles Aggregatgefüge. Die Bindung an die Tonminerale macht die organischen Stoffe resistenter gegen mikrobiellen Abbau.

Die Fähigkeit der Huminstoffe metallorganische Komplexe bilden zu können, ist von größter Wichtigkeit für die komplizierten Vorgänge der Pflanzenverfügbarkeit von Nähr- und Schadstoffen.

Ein ausführlicher, vertiefender Beitrag zur Bedeutung des Humusgehaltes im Boden wurde im Bodenschutzbericht 1992 und auf der dem Bodenschutzbericht 2000 beigelegten CD-ROM veröffentlicht ("Humus in steirischen Böden" von Dr. Max Eisenhut, ehem. Bundesanstalt für Bodenkultur - Außenstelle Graz).

Der anzustrebende Mindesthumusgehalt im Boden ist in Abhängigkeit zur Bodenschwere unterschiedlich. Während auf leichten Böden ein entsprechender Humusgehalt eine niedrige Sorptionsleistung teilweise ausgleicht bzw. diese erhöht, erfüllt er in schweren Böden in erster Linie die Aufgabe den Boden zu lockern und die Krümelbildung zu fördern.

Anzustrebender Mindesthumusgehalt in Ackerböden in Abhängigkeit zum Tongehalt (Bodenschwere):

Tongehalt	Anzustrebender Mindesthumusgehalt
unter 15 %	1,5 %
von 15 - 25 %	2,0 %
über 25 %	2,5 %

Im Grünland besteht keine Gefahr der Unterschreitung der Mindestgehalte.

Die Bestimmung des Humusgehaltes erfolgt nach ÖNORM L1081 (Bestimmung durch Nassoxydation).

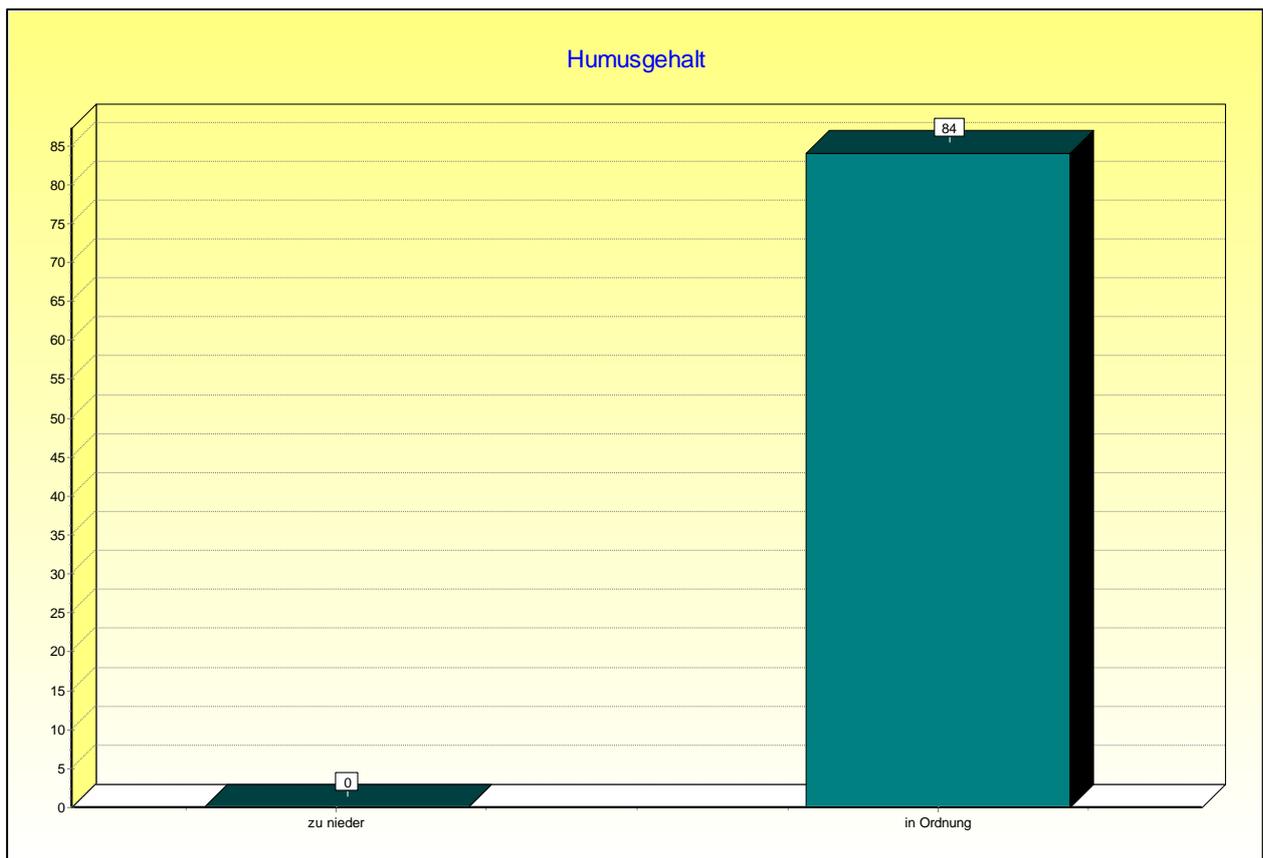
Untersuchungsergebnisse:

Anzahl der Standorte in den einzelnen Bewertungsklassen des **Humusgehaltes** im Bezirk Murtal:

Anzahl Standorte		
Humusgehalt	„zu nieder“	„in Ordnung“
Grünland	-	45
Acker	-	16
Hochalm	-	20
Wald	-	3
Alle Standorte in MT in %	0 %	100 %
Steiermark in %	2 %	98 %

→ Der Humusgehalt aller im Bezirk Murtal untersuchten Böden ist in Ordnung.

Die mögliche Veränderung des Humusgehaltes an ackerbaulich genutzten Flächen wird durch die in Arbeit befindliche Bodendauerbeobachtung untersucht.



Anzahl der Standorte in den Bewertungsklassen des Humusgehaltes

pH-Wert:

Allgemeines:

Der pH-Wert des Bodens (auch Acidität oder Säuregrad genannt) hat maßgeblichen Einfluss auf die Mobilisierbarkeit von Metallen (Nährstoffhaushalt und Verfügbarkeit von Schadstoffen).

Bei Umweltdiskussionen hat die Befürchtung einer zunehmenden Bodenversauerung in den letzten beiden Jahrzehnten immer wieder zu Bedenken Anlass gegeben. Dazu kann allgemein gesagt werden, dass der Boden am besten vor Versauerung geschützt ist, wenn seine Austauschkapazität hoch und mit Erdalkalitionen (Kalzium, Magnesium) gut abgesättigt ist, oder wenn freies Karbonat im Boden vorliegt. Die natürlichen sowie die durch die Bewirtschaftung bedingten, unvermeidlichen Basenverluste werden damit kompensiert. In humusarmen Sandböden kann die Versauerung allerdings innerhalb kurzer Zeit schwerwiegende Ausmaße erreichen.

Durch die Abhängigkeit des pH-Wertes vom Humusgehalt sind bei vergleichbarem bodenbildenden Ausgangsmaterial ackerbaulich genutzte Böden nicht so sauer wie Grünlandstandorte. Die sauersten Böden findet man daher auf Hochalmen und Waldstandorten mit kalkfreiem bodenbildenden Ausgangsmaterial.

Auf den landwirtschaftlich genutzten Flächen mit zu niedrigem pH-Wert (Bewertung „sauer“) ist als bodenverbessernde Maßnahme eine Gesundungskalkung angebracht.

Anzustrebender Säuregrad in Abhängigkeit zur Bodenschwere:

Bodenschwere (Tongehalt)	Anzustrebender Säuregrad	
	Ackerland*, Wein- und Obstgärten	Grünland
unter 15 %	über 5,5	um 5,0
15 - 25 %	über 6,0	um 5,5
über 25%	über 6,5	um 6,0

* Beim Anbau von Hafer, Roggen oder Kartoffel kann der Säuregrad jeweils um 0,5 Einheiten niedriger sein.

Um auch den Säuregrad von Hochalm- und Waldstandorten einschätzen zu können, wurde ihr anzustrebender Säuregrad dem von Grünland gleichgesetzt.

Die Bestimmung des pH-Wertes erfolgt nach ÖNORM L1083 durch Messung der Wasserstoffionenaktivität einer Suspension von Boden in einer CaCl₂ - Lösung.

Untersuchungsergebnisse:

Anzahl der Standorte in den einzelnen Bewertungsklassen des **Säuregrades** im Bezirk Murtal:

Säuregrad*	Anzahl Standorte		
	„sauer“	„in Ordnung“	„basisch“
Grünland	8	30	7
Acker	13	3	-
Hochalm	19	1	-
Wald	3	-	-
Alle Standorte in MT in %	51 %	41 %	8 %
Steiermark in %	37 %	45 %	18 %

* „sauer“: Der anzustrebende Säuregrad ist nicht erreicht (Boden zu sauer).

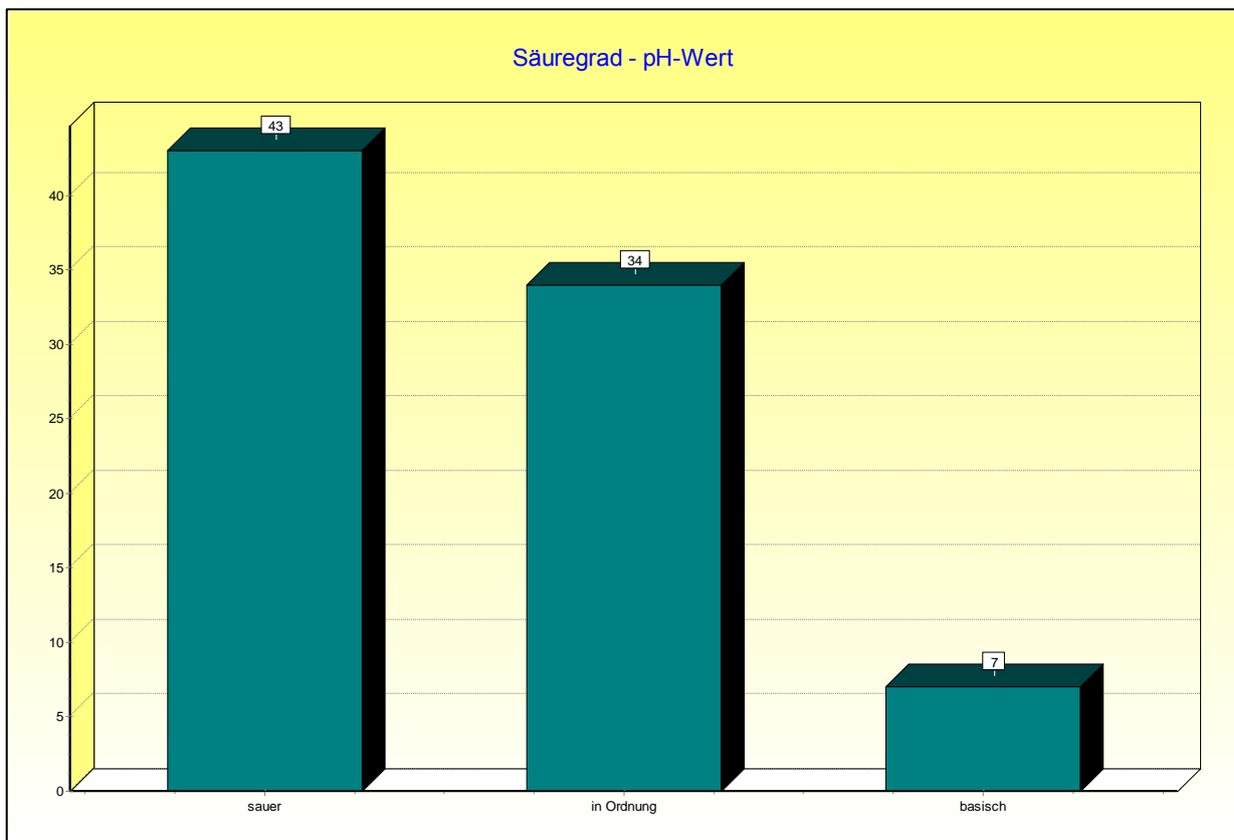
„in Ordnung“: Der anzustrebende Säuregrad ist erreicht.

„basisch“: Der Säuregrad des Bodens ist sogar höher als der Sollwert.

→ Der Prozentsatz der als „sauer“ eingestuftten Böden im Bezirk Murtal ist verglichen mit der landesweiten Bodenzustandsinventur deutlich höher. Ursache ist das fast ausschließlich kalkfreie bodenbildende Ausgangsmaterial.

Der Anteil der als „basisch“ einzustufenden Grünlandflächen ist Großteils auf Hangschutt-Einmengungen aus Marmor zurückzuführen.

Die Problematik **Bodenversauerung** wird durch die in Arbeit befindliche Bodendauerbeobachtung beobachtet.



Anzahl der Standorte in den Bewertungsklassen des pH-Wertes

Kalk (CaCO₃):

Allgemeines:

Etwa 90 % der untersuchten steirischen Böden weisen einen Kalkgehalt von 0-0,5 % auf - sind also weitestgehend kalkfrei. Einige wenige Böden im Bereich der nördlichen Kalkalpen erreichen extrem hohe Gehalte über 30 % Kalk.

Da der Kalkgehalt der wesentlichste Einflussfaktor der Bodenacidität ist, ist ihm besondere Bedeutung beizumessen.

Verbunden mit dem naturgegeben niedrigen Kalkgehalt der steirischen Böden ergeben sich im Zusammenspiel mit anderen Faktoren (hoher Humusgehalt, leichter sandiger Boden, anhaltende saure Depositionen u. a.) an vielen Standorten zwangsläufig niedrigere pH-Werte. Um dem zu entgegen ist die Verhinderung von Umwelteinflüssen zwar ein wichtiges Ziel, sie ist aber letztlich nur eine Einflussgröße von vielen.

Für eine effiziente Bodenverbesserung ist es notwendig, dem Boden den fehlenden Kalk im Zuge der landwirtschaftlichen Bearbeitung zuzuführen. Bei Böden, deren pH-Wert zu niedrig ist, bedarf es einer **Gesundungskalkung**. Zur Aufrechterhaltung des optimalen pH-Bereiches müssen **Erhaltungskalkungen** durchgeführt werden.

Bewertungsklassen des Kalkgehaltes:

Kalkgehalt in %	Kalkgehalt
unter 1	gering
1 – 5	mittel
über 5	hoch

Die Bestimmung des Kalksgehaltes erfolgt nach ÖNORM L1084 (Methode nach Scheibler).

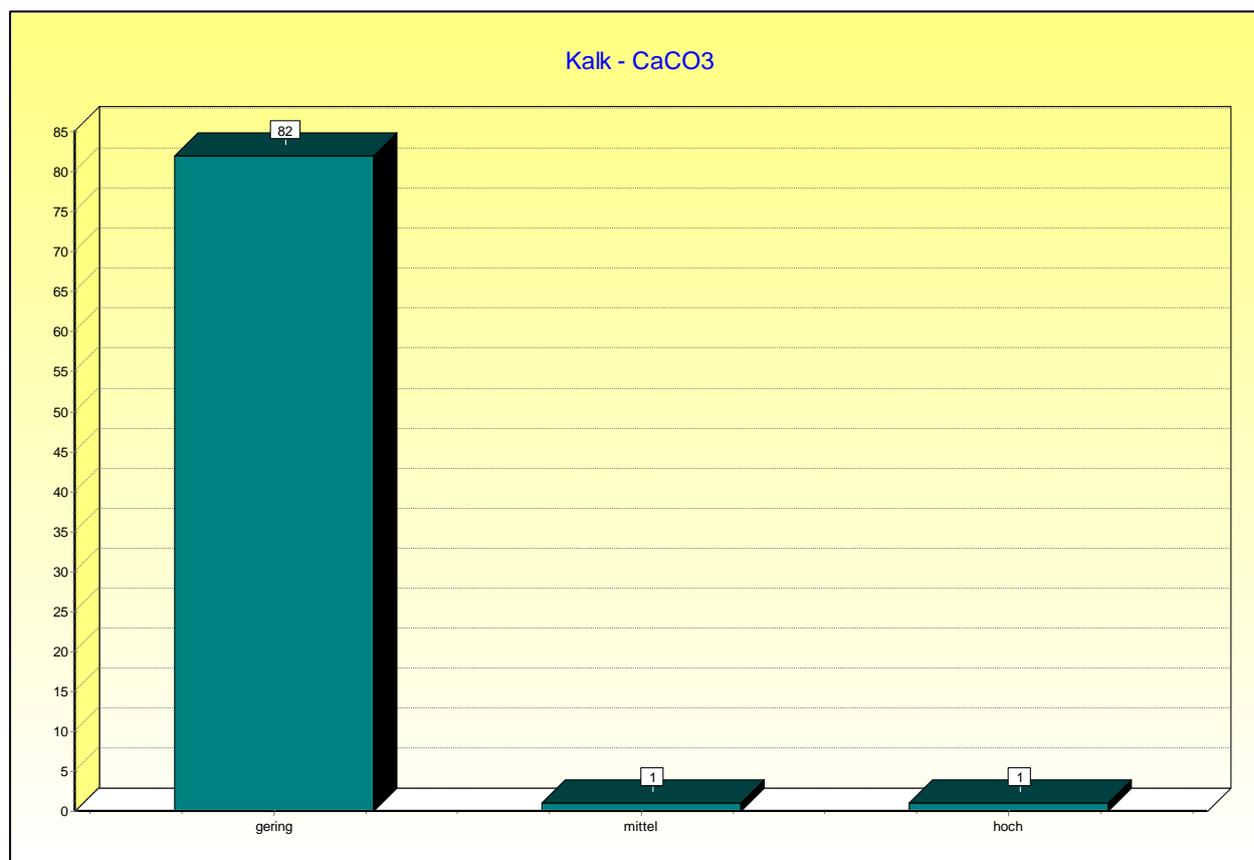
Untersuchungsergebnisse:

Anzahl der Standorte in den einzelnen Bewertungsklassen des **Kalkgehaltes** im Bezirk Murtal:

Kalkgehalt	Anzahl Standorte		
	„gering“	„mittel“	„hoch“
Grünland	44	-	1
Acker	16	-	-
Hochalm	19	1	-
Wald	3	-	-
Alle Standorte in MT in %	98 %	1 %	1 %
Steiermark in %	88 %	5 %	7 %

→ Wie bereits bei der Diskussion der pH-Werte erwähnt, sind fast alle Flächen im Bezirk Murtal kalkfrei oder weisen minimale Kalkgehalte unter 1 % auf. Das fast ausschließlich kalkfreie bodenbildende Ausgangsmaterial enthält nur selten kalkiges Grobmaterial, das stellenweise im Hangschutt eingemengt ist.

An den kalkarmen Ackerflächen sind fallweise **Gesundungs- bzw. Erhaltungskalkungen** zu empfehlen.



Anzahl der Standorte in den Bewertungsklassen des Kalkgehaltes

Phosphor / Phosphat (P₂O₅):

Allgemeines:

Der natürliche Gesamtgehalt der Böden an Phosphor beträgt laut Scheffer/Schachtschabel (1984) 0,02 - 0,08 % Phosphor, was umgerechnet etwa 46 - 183 mg P₂O₅ pro 100 g Boden entspricht. Der Großteil des Phosphors ist in mineralischen Phosphaten gebunden, weiters gibt es auch organische Phosphorverbindungen. Nur ein geringer Teil dieses Gesamtphosphors befindet sich in der Bodenlösung und steht somit den Pflanzen als Nährstoff zur Verfügung.

Bei der zur Düngeberatung angewandten Gehaltsbestimmung im Boden wird ein Extraktionsverfahren durchgeführt, welches den pflanzenverfügbaren Anteil des im Boden enthaltenen Phosphats annähernd ermitteln soll. Dieser Gehalt wird dann für die Bemessung von Düngegaben herangezogen.

Bei den bisherigen Untersuchungen des Bodenschutzprogrammes wurde festgestellt, dass der pflanzenverfügbare Phosphatgehalt in der Steiermark von Natur aus sehr niedrig ist und nur selten auf Grund von Düngegaben sehr hohe Gehalte erreicht.

Überdüngungen mit Phosphor sind insofern problematisch, als über Bodenerosion und Versickerung eine Nährstoffbelastung der Oberflächengewässer erfolgt, welche zu übermäßigem Algenwachstum und letztlich zum "Kippen" der Gewässer führen kann.

Zur Unterstützung einer bedarfsgerechten Düngung werden zum Beispiel von der Landeskammer für Land- und Forstwirtschaft gemeinsam mit dem Referat Boden- und Pflanzenanalytik Aktionen zur Untersuchung der Böden und die Erstellung von Düngeplänen angeboten.

Gehaltsstufen des Nährstoffes Phosphor (in mg P₂O₅/100g):

GEHALTSSTUFE	Ackerland, Wein- und Obstgärten, Feldgemüse	Grünland
sehr niedrig	unter 6	unter 6
niedrig	6 - 10	6 - 10
ausreichend	11 - 25	11 - 15
hoch	26 - 40	16 - 40
sehr hoch	über 40	über 40

Um auch die Nährstoffversorgung von Hochalm- und Waldstandorten einschätzen zu können, wurden ihre Gehaltsklassen denen von Grünland gleichgesetzt.

Die Bestimmung des Phosphatgehaltes erfolgt in Böden mit einem pH-Wert unter 6 nach ÖNORM L1088 (DL-Methode), bei höheren pH-Werten (≥ 6) nach ÖNORM L1087 (CAL-Methode).

Untersuchungsergebnisse:

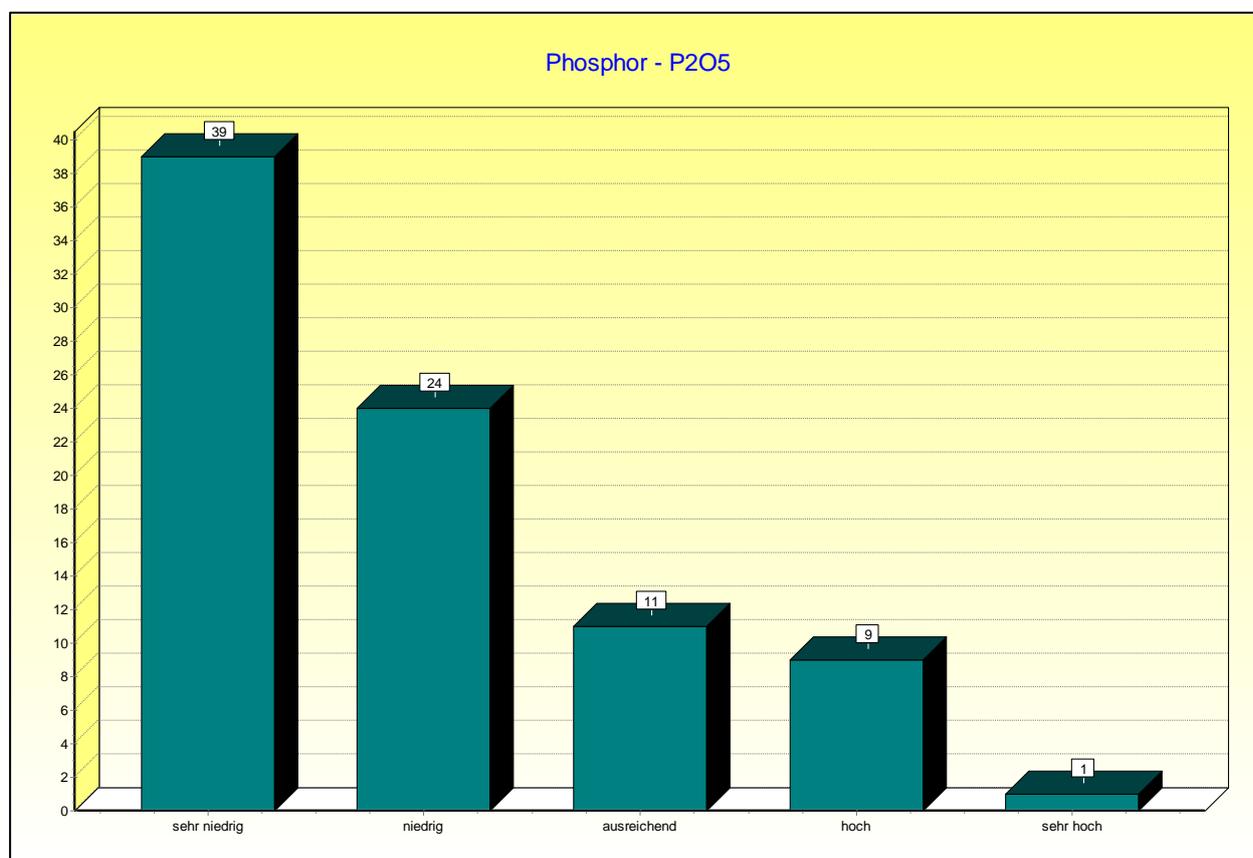
Anzahl der Standorte in den einzelnen Bewertungsklassen des **Phosphorgehaltes** im Bezirk Murtal:

Phosphorgehalt	Anzahl Standorte				
	„sehr niedrig“	„niedrig“	„ausreichend“	„hoch“	„sehr hoch“
Grünland	19	15	3	7	1
Acker	8	1	6	1	-
Hochalm	11	6	2	1	-
Wald	1	2	-	-	-
Alle Standorte in MT in %	46 %	29 %	13 %	11 %	1 %
Steiermark in %	47 %	22 %	18 %	11 %	2 %

→ Die Phosphorversorgung der Böden im Bezirk Murtal entspricht dem landesweiten Durchschnitt. Etwa Dreiviertel der untersuchten Standorte weisen niedrige bzw. sehr niedrige Gehalte auf.

Auf den landwirtschaftlich genutzten Flächen mit **Phosphormangel** (etwa die Hälfte der untersuchten Standorte) ist eine Düngung entsprechend einer fachkundigen Bodenuntersuchung sinnvoll.

Inwieweit im Zeitraum von 2-3 Jahrzehnten eine weitere Verarmung von pflanzenverfügbarem Phosphor in landwirtschaftlich genutzten Böden eintritt, bzw. an überversorgten Flächen eine Normalisierung der Gehalte stattfindet, wird durch die in Arbeit befindliche Bodendauerbeobachtung untersucht.



Anzahl der Standorte in den Bewertungsklassen des Phosphorgehaltes

Kalium (K₂O):

Allgemeines:

Laut Scheffer/Schachtschabel (1984) weist Kalium von allen Nährstoffen in der Regel den höchsten Gehalt in den Pflanzen auf und ist es auch in Gesteinen häufig zu einem hohen Anteil vertreten. Der Gehalt der Böden an Gesamtkalium liegt meist zwischen 0,2 und 3,3 % Kalium, was umgerechnet etwa 240 - 4000 mg K₂O /100 g Boden entspricht. Der pflanzenverfügbare Anteil davon ist viel geringer.

Bei der zur Düngeberatung angewandten Gehaltsbestimmung im Boden wird wie beim Phosphor ein Extraktionsverfahren durchgeführt, welches den pflanzenverfügbaren Anteil des im Boden enthaltenen Kaliums annähernd ermitteln soll. Dieser Gehalt wird dann für die Bemessung von Düngegaben herangezogen. Die Untersuchung der landwirtschaftlich genutzten Böden mit der Erstellung von Düngeplänen erfolgt zum Beispiel im Zuge von Aktionen der Landeskammer für Land- und Forstwirtschaft und dem Referat Boden- und Pflanzenanalytik.

Bei den bisherigen Untersuchungen des Bodenschutzprogrammes wurde festgestellt, dass der pflanzenverfügbare Kaliumgehalt steirischer Böden vor allem in Sonderkulturen häufig zu hohe Werte aufweist. Aber auch bei Acker- und Grünlandflächen kommt es in den landwirtschaftlich intensiv genutzten Gebieten der Steiermark häufiger als beim Phosphor zu Überdüngungen. An derartigen Standorten ist bis zur Normalisierung der Bodengehalte von weiteren Düngegaben abzusehen.

Gehaltsstufen des Nährstoffes Kalium (in mg/100g):

	Ackerland, Wein- und Obstgärten, Feldgemüse			
Gehaltsstufe	Ton unter 15 %	Ton 15 - 25 %	Ton über 25 %	Dauer- grünland
sehr niedrig	unter 6	unter 8	unter 10	unter 6
niedrig	6 - 10	8 - 13	10 - 16	6 - 10
ausreichend	11 - 21	14 - 25	17 - 29	11 - 20
hoch	22 - 35	26 - 40	30 - 45	21 - 40
sehr hoch	über 35	über 40	über 45	über 40

Um auch die Nährstoffversorgung von Hochalm- und Waldstandorten einschätzen zu können, wurden ihre Gehaltsklassen denen von Grünland gleichgesetzt.

Die Bestimmung des Kaliumgehaltes erfolgt in Böden mit einem pH-Wert unter 6 nach ÖNORM L1088 (DL-Methode), bei höheren pH-Werten (≥ 6) nach ÖNORM L1087 (CAL-Methode).

Untersuchungsergebnisse:

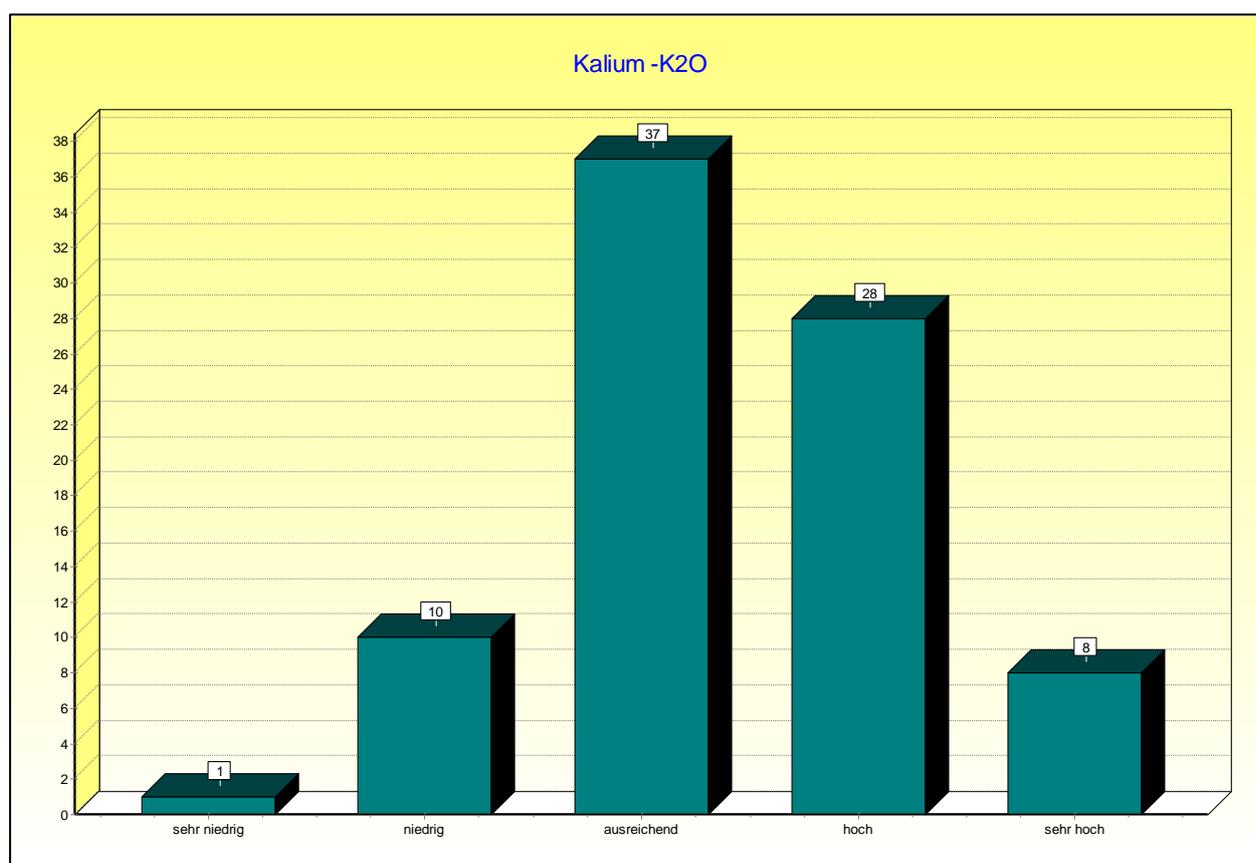
Anzahl der Standorte in den einzelnen Bewertungsklassen des **Kaliumgehaltes** im Bezirk Murtal:

Kaliumgehalt	Anzahl Standorte				
	„sehr niedrig“	„niedrig“	„ausreichend“	„hoch“	„sehr hoch“
Grünland	-	7	21	12	5
Acker	-	3	5	5	3
Hochalm	-	-	9	11	-
Wald	1	-	2	-	-
Alle Standorte in MT in %	1 %	12 %	44 %	33 %	10 %
Steiermark in %	3 %	18 %	47 %	23 %	9 %

→ Die Kaliversorgung der Böden im Bezirk Murtal weist häufiger „hoch“ versorgte Flächen auf, als der Landesdurchschnitt.

Kaliummangel ist - wie generell in der Steiermark - deutlich seltener als Phosphormangel.

Um Fehler in der Nährstoffversorgung zu vermeiden, wird empfohlen Düngungsmaßnahmen nur entsprechend einer fachkundigen Bodenuntersuchung und laut Düngeplan (z. B. der Düngeberatungsstelle der Landeskammer für Land- und Forstwirtschaft) durchzuführen.



Anzahl der Standorte in den Bewertungsklassen des Kaliumgehaltes

Magnesium (Mg):

Allgemeines:

Laut Scheffer/Schachtschabel (1984) liegt der Gesamtgehalt an Magnesium in $MgCO_3$ -freien Böden im Bereich von 0,05 - 0,5 %, was umgerechnet etwa 50 - 500 mg Mg/100 g Boden entspricht. Für die Magnesiumversorgung der Pflanzen ist vor allem das austauschbare Magnesium von Bedeutung, da dieses mit der Bodenlösung in einem sich schnell einstellenden Gleichgewicht steht.

Für Routineuntersuchungen zur Erfassung des mehr oder weniger hohen Anteils an austauschbarem Magnesium wird üblicherweise das Extraktionsverfahren nach Schachtschabel angewandt. Als Extraktionslösung wird eine $CaCl_2$ -Lösung verwendet. Bei der Bestimmung der austauschbaren Kationen (Ca, Mg, K, Na) im Zuge der Abschätzung der Kationenaustauschkapazität wird als Extraktionslösung eine $BaCl_2$ -Lösung verwendet.

Es besteht eine enge Beziehung zwischen den Magnesiumgehalten aus den beiden Extraktionsverfahren. Dabei beträgt der nach Schachtschabel ermittelte Magnesiumgehalt im Mittel 65 % des $BaCl_2$ -Extraktes und wird üblicherweise als "pflanzenverfügbarer" Anteil definiert.

Eine hohe Kaliumkonzentration in der Bodenlösung hat auf die Pflanzen-Aufnehmbarkeit von Magnesium einen negativen Einfluss (Ionenkonkurrenz).

Die bisherigen Untersuchungen in der Steiermark zeigen dass mehr als 80 % der Böden hohe bzw. sehr hohe Magnesiumgehalte aufweisen. Ob die Werte rein geologisch bedingt sind, oder fallweise auch aus Düngegaben (magnesiumhaltige Düngekalke, Patentkali) resultieren, ist unbekannt.

Generell kann gesagt werden, dass eine gezielte Magnesiumdüngung nur in Ausnahmefällen wirklich sinnvoll ist. An ackerbaulich genutzten Standorten mit niedrigem pH-Wert, wo auch die prozentuellen Gehalte der austauschbaren Kationen Magnesium und Kalium auf einen Magnesiummangel schließen lassen, wäre die Verwendung eines magnesiumhaltigen Düngekalkes möglich.

Gehaltsstufen des Nährstoffes Magnesium (in mg/100g):

Gehaltsstufe	Ton unter 15 %	Ton 15 - 25 %	Ton über 25 %
sehr niedrig	-	unter 3	unter 4
niedrig	unter 5	3 - 5	4 - 7
ausreichend	5 - 7	6 - 10	8 - 13
hoch	8 - 15	11 - 19	14 - 22
sehr hoch	über 15	über 19	über 22

Um auch die Nährstoffversorgung von Hochalm- und Waldstandorten einschätzen zu können, wurden ihre Gehaltsklassen denen von Grünland gleichgesetzt.

Die Bestimmung des Magnesiumgehaltes erfolgt nach ÖNORM L1093 (Methode nach Schachtschabel).

Untersuchungsergebnisse:

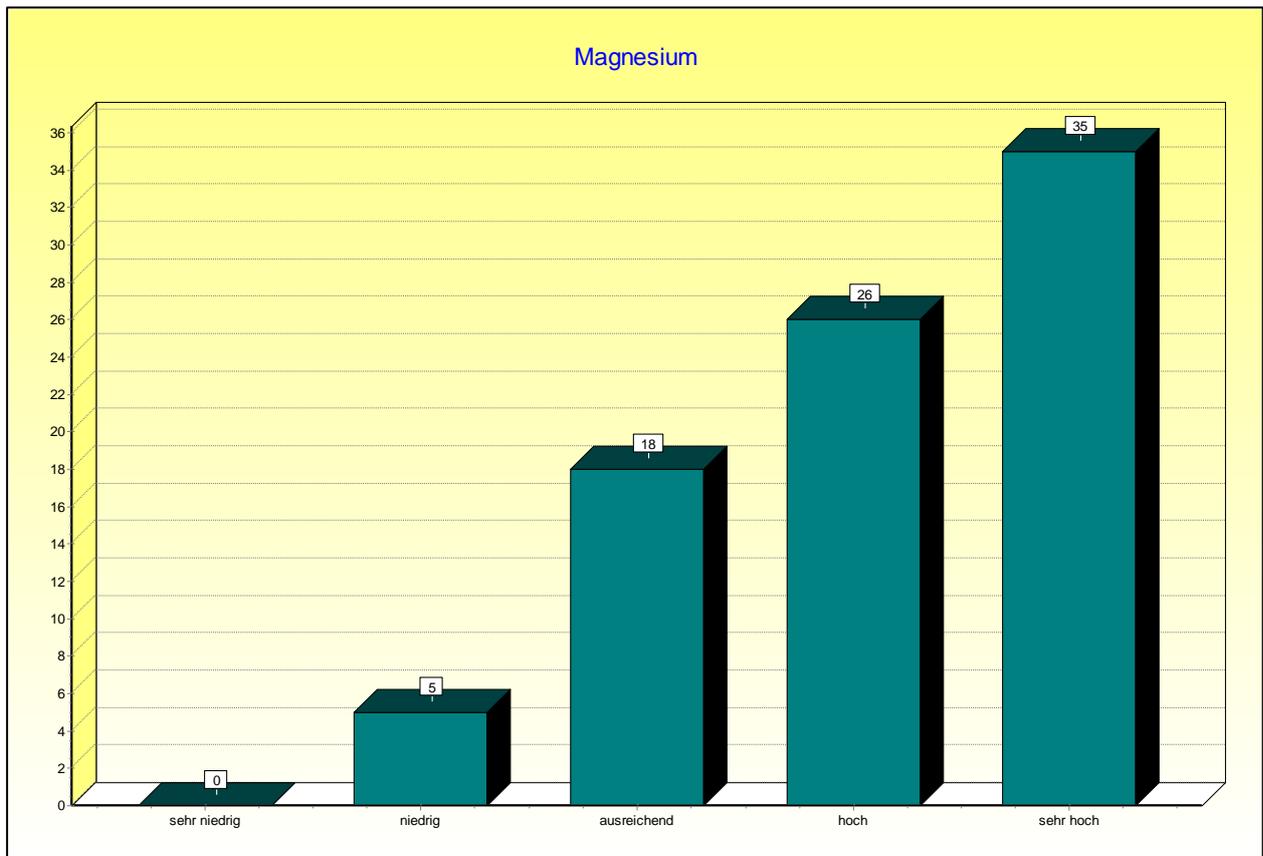
Anzahl der Standorte in den einzelnen Bewertungsklassen des **Magnesiumgehaltes** im Bezirk Murtal:

Anzahl Standorte

Magnesiumgehalt	„sehr niedrig“	„niedrig“	„ausreichend“	„hoch“	„sehr hoch“
Grünland	-	-	3	15	27
Acker	-	1	3	7	5
Hochalm	-	2	11	4	3
Wald	-	2	1	-	-
Alle Standorte in MT in %	0 %	6 %	21 %	31 %	42 %
Steiermark in %	0 %	3 %	14 %	36 %	47 %

→ Vergleichbar mit den landesweiten Erhebungen liegt der Großteil der im Bezirk Murtal untersuchten Standorte in den beiden höchsten Gehaltsklassen der Magnesiumversorgung.

Negative Auswirkungen einer Magnesium-Übersversorgung der Böden sind nicht bekannt. Die Fachliteratur nennt nur Mangelercheinungen bei Pflanzen, insbesondere im Obstbau. Magnesiummangel ist am ehesten auf Grund von Auswaschung auf sorptionschwachen (sandigen) Böden möglich.



Anzahl der Standorte in den Bewertungsklassen des Magnesiumgehaltes

Bor (B):

Allgemeines:

Das Nichtmetall Bor ist ein für die Pflanzenernährung essentieller Mikronährstoff. Besondere Bedeutung hat seine Bestimmung im Boden bei Sonderkulturen und Rüben, da sich hier Mangelercheinungen am ehesten negativ bemerkbar machen.

Laut Scheffer/Schachtschabel (1984) tritt **Bormangel** vor allem in trockenen und warmen Jahren auf Sandböden sowie auf trockenen Standorten tonreicher Böden auf. Dort bewirkt er zum Beispiel bei Zuckerrüben die Herz- und Trockenfäule, bei Äpfeln die Korkbildung und bei anderen Kulturen ein Absterben der jüngsten Blätter. Stark Bor - bedürftige Pflanzen sind Mais, Wein, Blumenkohl, Sellerie, Kohlrabi und andere.

Bor-Toxizität wird im humiden Klimabereich nur sehr selten beobachtet und beruht dann auf einem zu hohen Borgehalt in der Bodenlösung infolge zu hoher Bor-Düngung. Im ariden Klimabereich führt häufig die Anwendung von Beregnungswasser mit hoher Borkonzentration zu Ertragsdepressionen. Auch durch die Aufbringung von Klärschlamm (enthält oft hohe Konzentrationen an Boraten aus den Haushaltsabwässern) können im Boden hohe Gehalte an Bor angereichert werden. Ein Borüberschuss ist an Nekroseflecken auf den Blättern von Bor - empfindlichen Pflanzen, wie Kartoffeln, Bohnen und Getreide zu erkennen.

Zur Bestimmung der Bor-Verfügbarkeit haben sich die Extraktion des Bodens mit siedendem Wasser oder die Acetatextraktion nach Baron, welche neben dem löslichen und den Pflanzen direkt zur Verfügung stehenden Anteil auch das etwas stärker gebundene Bor erfasst, bewährt.

Gehaltsstufen des Spurenelementes Bor (in mg/kg):

Gehaltsstufe Bor	Ton unter 15 %	Ton über 15 %
niedrig	< 0.2	< 0.3
mittel	um 0.6	um 0.8
hoch	> 2.0	> 2.5

Die Bestimmung des Borgehaltes erfolgt nach ÖNORM L1090 (Acetatextraktion nach Baron).

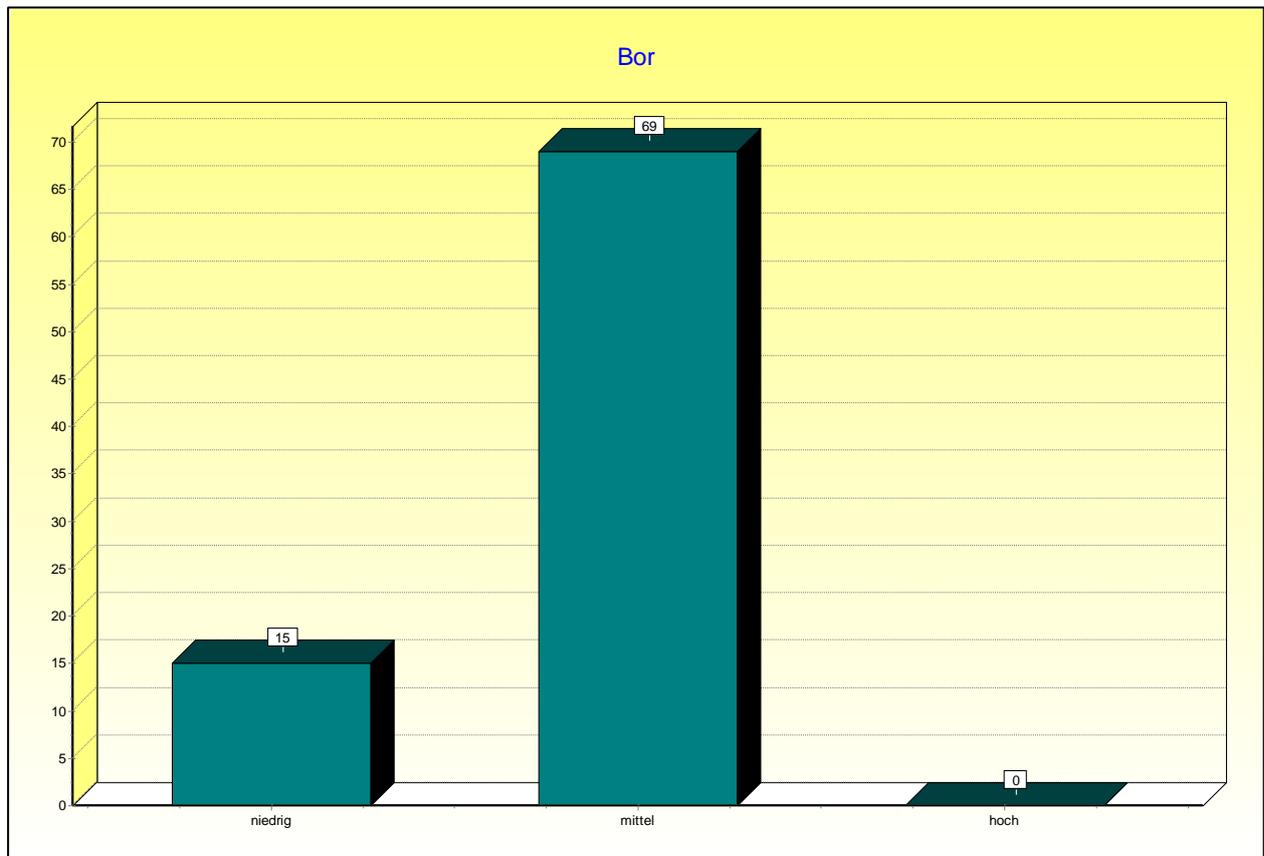
Untersuchungsergebnisse:

Anzahl der Standorte in den einzelnen Bewertungsklassen des **Borgehaltes** im Bezirk Murtal:

Anzahl Standorte			
Borgehalt	„niedrig“	„mittel“	„hoch“
Grünland	3	42	-
Acker	2	14	-
Hochalm	8	12	-
Wald	2	1	-
Alle Standorte in MT in %	18 %	82 %	0 %
Steiermark in %	22 %	76 %	2 %

→ Die Borversorgung der im Bezirk Murtal untersuchten Standorte stimmt gut mit den Ergebnissen der landesweiten Bodenzustandsinventur überein. Niedrig versorgte Standorte sind nur im Fall einer ackerbaulichen Nutzung mit borbedürftigen Pflanzen problematisch.

Von den beiden nieder versorgten Ackerstandorten **KNA 3** und **KNI 12** wurde der zweite 2002 wegen Verbauung aufgelassen. Am Standort **KNA 3** wurde im Zuge der Bodendauerbeobachtung eine deutliche Anhebung des Borgehaltes festgestellt.



Anzahl der Standorte in den Bewertungsklassen des Borgehaltes

Die EDTA-extrahierbaren Spurenelemente Kupfer, Zink, Mangan und Eisen:

Allgemeines:

Die Gehaltsbestimmung aus dem EDTA (Ethylendiamintetraessigsäure) - Extrakt wird dazu verwendet, um die Versorgung des Bodens mit metallischen Spurenelementen abzuschätzen. Sie erfasst die für Pflanzen leicht verfügbare Schwermetallfraktion der komplexgebundenen und an der Oberfläche der Bodenpartikel angelagerten Bindungsformen der Elemente.

Man versucht so aus den Ergebnissen der EDTA-Extraktion Unterversorgungen mit den untersuchten Spurenelementen festzustellen und für Kupfer oder Zink auch Intoxikationen durch zu hohe Gehalte abzuleiten.

Eine hohe Konzentration an Phosphat in der Bodenlösung kann die Aufnahme der Spurenelemente in die Pflanzen vermindern.

Laut Scheffer/Schachtschabel (1984) tritt **Manganmangel** nur sehr selten auf.

Eine **Unterversorgung mit Eisen** ist trotz häufig hoher Gehalte der Böden an Eisenoxiden weltweit sehr verbreitet und tritt vor allem in stark kalkhaltigen Böden auf. Die Bestimmung der Eisenverfügbarkeit durch eine Bodenuntersuchung führt nicht zu befriedigenden Ergebnissen.

Kupfermangel tritt besonders bei Podsol - Sandböden und frisch kultivierten Moorböden auf, sonst selten. Eine **hohe Kupferkonzentration** in der Bodenlösung hemmt die Aufnahme von Zink und Molybdän durch die Pflanzen und kann auf Mikroorganismen toxisch wirken.

Zinkmangel ist weltweit verbreitet und tritt besonders in karbonatreichen Böden mit hohem pH-Wert und viel organischer Substanz auf. Bei sehr hohen Gehalten in Böden wirkt **Zink toxisch** auf Pflanzen und Mikroorganismen.

Gehaltsstufen der Spurenelemente Cu, Zn, Mn und Fe (in mg/kg) im EDTA-Extrakt:

Gehaltsstufe	Kupfer (EDTA-Cu)	Zink (EDTA-Zn)	Mangan (EDTA-Mn)	Eisen (EDTA-Fe)
niedrig	< 2	< 2	< 20	< 20
mittel	um 8	um 8	um 70	um 100
hoch	> 20	> 20	> 200	> 300

Die Bestimmung erfolgt nach ÖNORM L1089 (EDTA-Extraktion).

Untersuchungsergebnisse:

Anzahl der Standorte in den einzelnen Bewertungsklassen der **EDTA - extrahierbaren Spurenelemente Cu, Zn, Mn und Fe** im Bezirk Murtal:

Anzahl Standorte

EDTA-Cu	„niedrig“	„mittel“	„hoch“
Grünland	-	43	2
Acker	-	16	-
Hochalm	3	17	-
Wald	1	2	-
Alle Standorte in MT in %	5 %	93 %	2 %
Steiermark in %	3 %	94 %	3 %

Anzahl Standorte

EDTA-Zn	„niedrig“	„mittel“	„hoch“
Grünland	-	43	2
Acker	-	15	1
Hochalm	1	18	1
Wald	-	3	-
Alle Standorte in MT in %	1 %	94 %	5 %
Steiermark in %	1 %	87 %	12 %

Anzahl Standorte

EDTA-Mn	„niedrig“	„mittel“	„hoch“
Grünland	-	16	29
Acker	-	13	3
Hochalm	4	13	3
Wald	1	2	-
Alle Standorte in MT in %	6 %	52 %	42 %
Steiermark in %	3 %	21 %	76 %

Anzahl Standorte

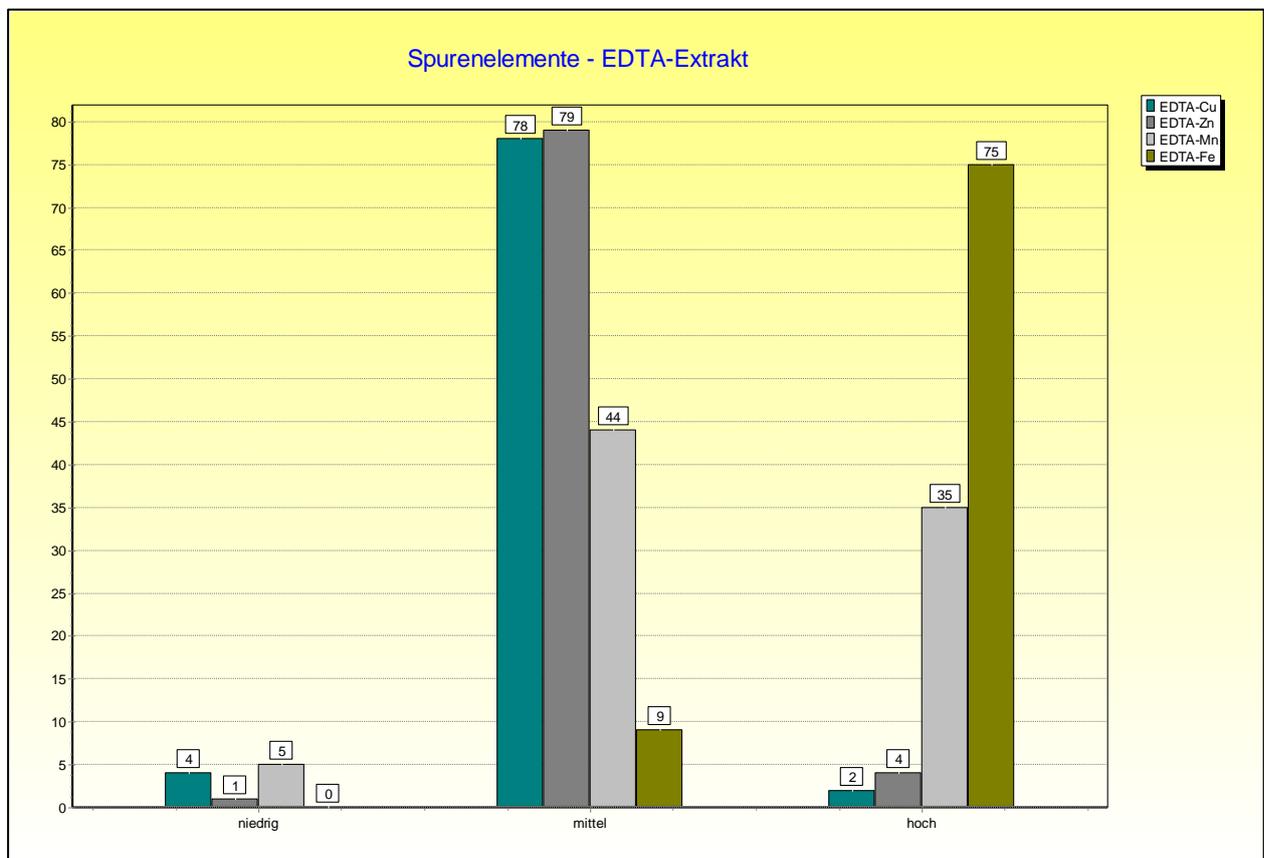
EDTA-Fe	„niedrig“	„mittel“	„hoch“
Grünland	-	-	45
Acker	-	9	7
Hochalm	-	-	20
Wald	-	-	3
Alle Standorte in MT in %	0 %	11 %	89 %
Steiermark in %	0 %	13 %	87 %

→ Die Spurenelementgehalte der im Bezirk Murtal untersuchten Standorte stimmen tendenziell gut mit den Ergebnissen der landesweiten Bodenzustandsinventur überein, bloß Standorte mit hohen Gehalten an Zink und Mangan treten seltener auf.

Eine **Mangelversorgung** mit den Spurenelementen Cu, Zn oder Mn finden wir nur an Wald- oder Hochalmstandorten, sodass landwirtschaftliche Probleme ausgeschlossen werden können. Die Nährstoffverarmung dürfte auf den niedrigen pH-Wert der Böden zurückzuführen sein.

Die **hohe Kupferversorgung** an den beiden Grünlandstandorten **VFD 2** und **VFE 3** ist auf den erhöhten geogenen Background der Böden zurückzuführen (ehemalige Bergbaustandorte). Gleiches gilt für die **hohen Zinkgehalte** an den Standorten **VFD 6**, **VFE 3**, **JUB3** und **JUX 15**. Negative Auswirkungen auf die landwirtschaftliche Produktion an diesen Standorten sind derzeit nicht bekannt.

Die Gehalte der beiden Spurenelemente **Mangan** und **Eisen** liegen fast alle im mittleren und hohen Versorgungsbereich. Probleme durch eine Überversorgung mit diesen beiden Spurennährstoffen sind nicht bekannt.



Anzahl der Standorte in den Bewertungsklassen der Spurenelementgehalte

Die austauschbaren Kationen Kalzium, Magnesium, Kalium und Natrium:

Allgemeines:

Eine wichtige Eigenschaft des Bodens ist es Kationen so binden zu können, dass sie weitgehend vor der Auswaschung geschützt, aber trotzdem pflanzenverfügbar sind. Diese Fähigkeit wird Kationenaustausch genannt und gewährleistet die Mineralversorgung der Pflanzen.

Die Summe der austauschbaren Kationen wird **Kationenaustauschkapazität (KAK)** genannt und inkludiert folgende Ionen: Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ , Na^+ , Al^{+++} , Fe^{++} , Mn^{++} und H^+ . Die Höhe der KAK wird hauptsächlich vom Humus- und Tongehalt, sowie dem pH-Wert des Bodens beeinflusst.

Den mengenmäßig größten Anteil an der KAK hat normalerweise das Ca^{++} -Ion. In Böden mit annähernd neutralem pH-Wert findet man fast ausschließlich die Kationen Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ und Na^+ . Ihre Summe bezeichnet man als **austauschbare Basen** (früher S-Wert).

Als Einheit zur Mengenangabe verwendet man üblicherweise *mmol-Ionenäquivalent* oder *mval*, bzw. *mg* pro 100 oder neuerdings auch 1000 g Boden. Der prozentuelle Anteil der austauschbaren Basen an der KAK wird **Basensättigung** (früher V-Wert) bezeichnet.

Bei niedrigen pH-Werten (etwa $< 6,5$) steigt definitionsgemäß der Anteil an H^+ -Ionen und auch jener von Al^{+++} , Fe^{++} und Mn^{++} . Der Anteil an Fe^{++} - und Mn^{++} -Ionen ist nur bei extrem sauren Böden nennenswert und bleibt daher analytisch meist unberücksichtigt.

Die Ermittlung der KAK kann daher aus der Einzelbestimmung der Ionen Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ , Na^+ und Al^{+++} unter Berücksichtigung des pH-Wertes (Anteil H^+) erfolgen, oder durch eine Summenbestimmung über den sogenannten Barium-Rücktausch.

Um ein ausgeglichenes Nährstoffangebot und eine günstige Bodenstruktur zu erzielen, sollte der Sorptionskomplex des Bodens etwa folgendermaßen belegt sein (die Angaben beziehen sich auf den Kationenanteil in mval bezogen auf die KAK):

60 - 90 %	Kalzium (Ca)
5 - 15 %	Magnesium (Mg)
2 - 5 %	Kalium (K)
0 - 1 %	Natrium (Na)

Die Summe der vier Kationen wird 100 % gesetzt.

Starke Abweichungen von diesen Werten können zu einer Beeinträchtigung der Bodenfruchtbarkeit führen.

Kalziumwerte unter 50 % können Ursache für eine schlechte Bodenstruktur sein. Steigt der Natriumwert auf über 5 %, kann es zu einem „Zerfließen“ des Bodens kommen. Magnesiumwerte von weniger als 10 % sind in Verbindung mit hohen Kaliwerten ein Hinweis auf einen möglichen Magnesiummangel.

Da der Ca-Gehalt im Obst großen Einfluss auf die Lagerfähigkeit hat, wird in Böden von Obstanlagen auch der absolute Gehalt an austauschbarem Kalzium bewertet. Für Äpfel und Birnen ist ein Richtwert von mehr als 300 mg Ca / 100g Boden erstrebenswert, für andere Obstarten ein Wert von mehr als 250 mg Ca / 100g Boden.

Die Bestimmung der austauschbaren Kationen erfolgt nach ÖNORM L1086.

Untersuchungsergebnisse:

Da bei den Proben des Bodenschutzprogrammes laut Gesetzesvorgabe nur die Bestimmung der austauschbaren Kationen Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ und Na^+ erfolgt, können korrekterweise nur Böden mit annähernd neutralem pH-Wert beurteilt werden.

Um aber trotzdem alle Böden zumindest annähernd bewerten zu können, wird versucht rechnerisch die Basensättigung über den pH-Wert abzuschätzen. Als Grundlage dafür wird die bei der oberösterreichischen Bodenzustandsinventur in Ackerböden ermittelte lineare Beziehung

$$\text{Basensättigung (\%)} = 21,4 \times \text{pH-Wert} - 52,6 \quad \text{verwendet.}$$

Die so errechneten Werte der Basensättigung in % sind bei der verbalen Beurteilung der Standorte im Internet (www.bodenschutz.steiermark.at) über die Kartenabfrage mittels Hotlink-Werkzeug zugänglich.

Der Hinweis auf eine mögliche schlechte **Bodenstruktur** nur auf Grund eines **Kalziumwertes** unter 50 % ist mit Skepsis zu betrachten, da zur genaueren Beurteilung auch der Salzgehalt der Bodenlösung betrachtet werden muss. Im Bezirk Murtal weisen rund die Hälfte der untersuchten Standorte Kalziumwerte unter 50 % auf. Die korrekte Beschreibung ihrer Bodenstruktur ist der bodenkundlichen Profilbeschreibung im Internet zu entnehmen.

Laut Scheffer/Schachtschabel (1984) ist die Bodenstruktur auch jahreszeitlichen Schwankungen unterworfen. Dabei ist die Gefügestabilität im Spätsommer und Herbst meist relativ hoch, da hier durch die Austrocknung während des Sommers die Stabilisierung der Aggregate nachwirkt und durch die Vegetationsrückstände die biologische Aktivität gefördert wird. Generell betrachtet ist die optimale Bodenstruktur nicht nur vom Pflanzenbewuchs, sondern auch vom Klima abhängig. Bei großem Wasserüberschuss müssen das Volumen der Grobporen und die Aggregatstabilität tonreicher Böden höher sein. Unter trockenen Bedingungen ist dagegen ein hohes Volumen an Mittelporen zur Speicherung eines hohen Anteils an pflanzenverfügbarem Wasser wichtiger. Im Durchschnitt der Jahre werden daher nicht bei extrem hoher, sondern bei mittlerer Aggregatstabilität die höchsten Erträge erzielt.

Beim **Natrium** konnten keine Werte über 5 % („Zerfließen“ des Bodens) gefunden werden.

Das Zusammenspiel der **Magnesium- und Kaliumwerte** als Hinweis auf einen möglichen Magnesiummangel (Magnesiumwerte unter 10 % und gleichzeitig Kaliumwerte über 5 %) ist an folgenden 8 Untersuchungsstandorten gestört:

KNI 1, 2, 8 + 12, KNA 3 + 8, KNB 2 und KNX 8.

Die Standorte KNI 1, 2 und 12 sind wegen Verbauung ausgefallen und bei den Wald- bzw. Hochalmstandorten KNI 8, KNB 2 und KNX 8 ist das Problem landwirtschaftlich nicht relevant.

Bei den verbleibenden Standorten KNA 3 und 8 zeigte die Kontrolle im Rahmen der Bodendauerbeobachtung eine Normalisierung des Magnesium/Kalium-Verhältnisses.

Um auch eine **Klassifizierung der Absolutgehalte** der austauschbaren Kationen durchführen zu können, wurden die Gehalte des austauschbaren Ca, Mg, K und Na in mval/100g umgerechnet und aufsummiert.

Summe Ca, Mg, K und Na	< 10	mval/100 g:	Gehalt niedrig
Summe Ca, Mg, K und Na	10 - 25	mval/100 g:	Gehalt mittel
Summe Ca, Mg, K und Na	> 25	mval/100 g:	Gehalt hoch

Berechnung: AKat-Summe (mval/100g) = 0,0499 x CaKat (mg/100g) + 0,0823 x MgKat (mg/100g) + 0,0256 x KKat (mg/100g) + 0,0435 x NaKat (mg/100g)

Die Verteilung der **Summe aus Ca, Mg, K und Na (AKat-Summe)** in den drei Gehaltsklassen im Bezirk Murtal lautet:

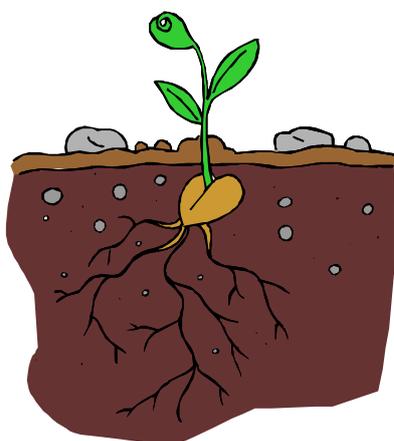
Gehaltsklasse AKat	Anzahl der Standorte		
	< 10 mval/100 g	10 - 25 mval/100 g	> 25 mval/100 g
Grünland	10	31	4
Acker	9	7	-
Hochalm	18	7	-
Wald	3	-	-
Alle Standorte in MT in %	48 %	48 %	5 %
Steiermark in %	22 %	63 %	15 %

Die Nährstoffbilanzierung im Bezirk Murtal weist im Vergleich mit der landesweiten Bodenzustandsinventur eine deutlich niedrigere Kationenbelegung auf. Ursache ist der relativ hohe Anteil an Wald- und Hochalmstandorten mit naturgemäß niedrigen pH-Werten und die generelle Kalkarmut der Böden im Bezirk.

An den landwirtschaftlich genutzten Standorten mit einer zu niedrigen Summe an austauschbaren Kationen kann versucht werden das Problem in der Nährstoffbilanzierung durch eine Anhebung des pH-Wertes (Kalkung) zu verbessern.

Derzeit ackerbaulich genutzte Standorte mit einer Kationensumme unter 10 mval/100g:

JUA 2 + 6, KNA 3, KNB 1, JUX 4 + 5.



Das wasserextrahierbare Fluor (F):

Allgemeines:

Der Fluorgehalt von Futterpflanzen ist einerseits wichtig für den Aufbau von Knochen und Zähnen der Tiere, andererseits gilt ein Fluorgesamtgehalt von mehr als 30 mg/kg in der Trockensubstanz von Weidegräsern bereits als bedenklich für die Gesundheit der Tiere (Fluorose). Der normale Pflanzengesamtgehalt an Fluor liegt meist unter 10 mg/kg in der Trockensubstanz.

Der Fluorgehalt von Pflanzen steht in keiner Beziehung zum Fluorgesamtgehalt des Bodens, sodass eine Abschätzung der Pflanzenverfügbarkeit des Fluor nur über den wasserextrahierbaren Fluoranteil des Bodens durchgeführt werden kann. Für dieses wasserextrahierbare Fluor bestehen auch gute Korrelationen zur Entfernung von potentiellen Emittenten (z. B.: Zementfabriken, Ziegeleien, Aluminiumindustrie, Müllverbrennung, Eisenverhüttung).

Laut Lehrbuch der Bodenkunde von Scheffer/Schachtschabel (16. Auflage, 2010) kann der jährliche Fluoreintrag in Form von Fluorwasserstoff, Fluoriden oder an Staubpartikel gebundenem Fluor in der Nähe von Industriebetrieben bis 20 kg Fluor / ha betragen. Mit der Ausbringung von Phosphatdüngern, deren Fluorgehalt meist 1,5 - 4 % beträgt, gelangen bei einer Düngung von 500 kg/ha 7,5 - 20 kg Fluor / ha auf den Boden.

Im Boden wird eingetragenes Fluor normalerweise relativ rasch in Form unlöslicher Verbindungen fixiert. Ausnahmen bilden kalkhaltige Böden, in denen Fluoride eine längere Zeit in mobiler und pflanzenverfügbarer Form erhalten bleiben als in sauren Böden.

Die Bindungskapazität für Fluoride ist bei sandigen Böden niedrig und bei tonigen hoch, sodass sich in leichten Böden das wasserlösliche Fluor oft deutlich nach unten verlagert.

Derzeit existieren kein offizieller Richtwert und auch keine standardisierte Untersuchungsmethode für die Bestimmung des wasserlöslichen Fluor in Böden, sodass zur Beurteilung der Untersuchungsergebnisse des Bodenschutzprogrammes ein aus den landesweiten Rasteruntersuchungen errechneter Normalgehalt für Fluor von maximal 1,2 mg/kg im Boden herangezogen wird. Bodengehalte von mehr als 1,2 mg/kg weisen auf Einträge aus Düngemitteln und/oder Industrieemissionen hin. Schädigungen an Pflanzen sind derzeit in der Steiermark auch bei Standorten mit sehr hohem Anteil an wasserlöslichem Fluor nicht bekannt.

Die Bestimmung des wasserlöslichen Fluor im Boden erfolgt nach einer Wasser-Extraktion und Messung mit ionenselektiver Elektrode.

Untersuchungsergebnisse:

Anzahl der Standorte in den einzelnen Bewertungsklassen des **Fluorgehaltes** im Bezirk Murtal:

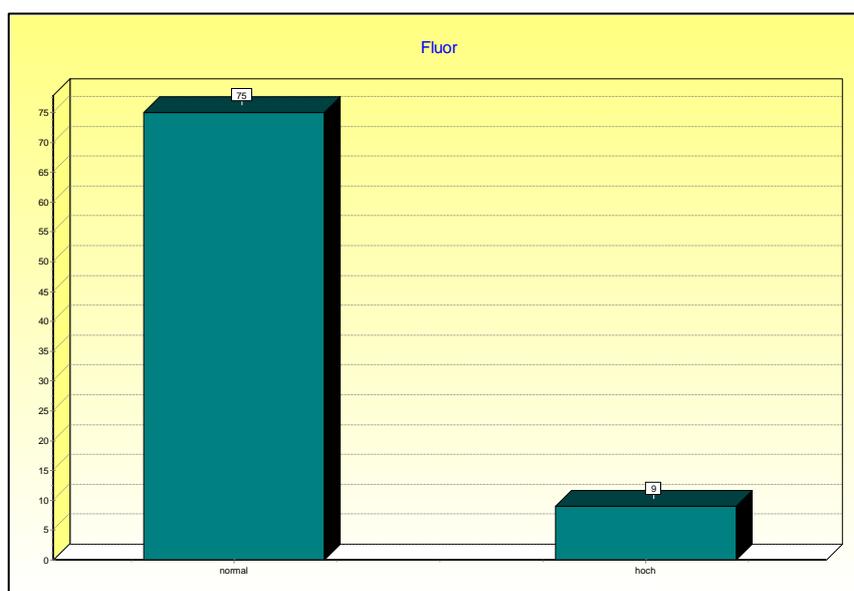
Anzahl Standorte		
Fluor (wasserlöslich)	„normal“	„über 1,2 ppm“
Grünland	39	6
Acker	14	2
Hochalm	20	-
Wald	2	1
Alle Standorte in MT in %	89 %	11 %
Steiermark in %	80 %	20 %

→ Der Vergleich der Fluorgehalte der Böden aus Murtal mit jenen der landesweiten Bodenzustandsinventur weist deutlich weniger erhöhte Werte auf.

Erhöhte Fluorgehalte finden wir an Standorten entlang des landwirtschaftlich stärker genutzten Mur- (JUX 9, KNI 11, KNI 7, KNA 4 + 7, KNB 4) und Pölstales (JUB 1 + 2, VFE 1). Die Fluoreinträge stammen wahrscheinlich hauptsächlich aus Düngemitteln. Nur am Waldstandort KNI 11 bei Judenburg ist der Eintrag vermutlich Großteils industrieller Herkunft. Und auch am Standort JUB 2 ist ein (zusätzlicher) Eintrag über Stäube des nahen Steinbruches wahrscheinlich.

Die erhöhten Fluorwerte korrelieren mit überdüngten Böden aber nur teilweise, sodass angenommen werden muss, dass nur manche Düngemittel hohe Fluorgehalte als Verunreinigung beinhalten. In einer stichprobenartigen Testserie im Jahr 2000 konnten in den Düngemitteln „Blaukorn“ und „TC Superphosphat“ rund 600 mg/kg wasserlösliches Fluor nachgewiesen werden. Wo ein Eintrag über Düngemittel ausgeschlossen werden kann, sind industrielle Immissionen die wahrscheinlichste Erklärung zur Herkunft der erhöhten Gehalte an wasserlöslichem Fluor im Boden.

Eine Weiterverfolgung der Fluorgehalte im Boden im Rahmen der in Arbeit befindlichen **Bodendauerbeobachtung** wird die zeitliche Zu- oder Abnahme dokumentieren.



Anzahl der Standorte in den Bewertungsklassen des Fluorgehaltes

Schwermetalle:

Allgemeines:

Der Bestimmung dieser Elementgruppe ist besondere Bedeutung beizumessen, da hier die Möglichkeit einer **Gefährdung** von Menschen, Tieren und Pflanzen besteht.

Schwermetalle sind einerseits allgegenwärtige, naturgegebene Elemente, welche sowohl nützliche als auch schädigende Eigenschaften besitzen - andererseits findet spätestens seit Beginn der industriellen Revolution auch eine Verbreitung durch den Menschen in seine Umwelt statt. Diesen fallweise hoch toxischen Schadstoffen - ihre schädigenden Wirkungen reichen von Ertragseinbusen bis zum Auslösen von Krebserkrankungen - ist höchstes Augenmerk zu widmen. Erkannten Belastungen muss durch entsprechende Maßnahmen entgegnet werden.

Der Knackpunkt dabei ist die Abschätzung des jeweiligen Gefährdungspotentials.

Dies ist durch einen alleinigen Vergleich mit Bodenrichtwerten unmöglich!

Der aus dem Königswasserextrakt bestimmte Schwermetallgehalt repräsentiert nahezu den Gesamtanteil der Elemente im Boden und ist viel größer als der für eine Gefährdungsabschätzung maßgebliche pflanzenverfügbare Anteil. Auch Versuche mit schonenderen Extraktionsverfahren führen zu keiner universell einsetzbaren Bestimmungsmethode, welche in der Lage wäre für verschiedene Bodentypen den mobilen Schwermetallanteil und dessen Aufnahme in diverse Pflanzenarten zu ermitteln.

Nur durch eine kombinierte Interpretation der Ergebnisse von Boden-, Pflanzen-, Lebensmittel-, Wasser- und Luftuntersuchungen können schädigende Auswirkungen von Schadstoffbelastungen (nicht nur Schwermetalle!) richtig eingeschätzt werden. Besonders schwierig ist eine Einschätzung von Wechselwirkungen (Abschwächung und Potenzierung) mehrerer Substanzen. Hier gibt es noch großen Forschungsbedarf.

Die Bestimmung der Schwermetalle im Boden erfolgt nach ÖNORM L1085 (Königswasser-Aufschluss) und anschließender AAS - Messung mit Flammen- bzw. Graphitrohrtechnik (Mo, Cd und As); Hg wird mit Kaltdampftechnik (FIMS) bestimmt.

Richtwerte für die Beurteilung von Schwermetallbelastungen:

Grenzwert: Per Gesetz oder Verordnung festgelegter Maximalgehalt, welcher bei Überschreitung Folgemaßnahmen nach sich zieht. In der Steiermark müssen an Standorten mit einer Grenzwertüberschreitung Pflanzenproben untersucht werden und per Gutachten die Herkunft und flächenhafte Verbreitung des Schadstoffes abgeklärt werden (Steiermärkisches landwirtschaftliches Bodenschutzgesetz, Bodenschutzprogrammverordnung und Klärschlammverordnung). Der Grenzwert für Quecksilber wurde mit Wirkung vom 29. 7. 2000 von 2 auf 1 mg/kg herabgesetzt. Bei der Novellierung der Klärschlammverordnung am 31. 10. 2007 wurden einige Grenzwerte weiter herabgesetzt. Kupfer: 60 mg/kg, Zink: 150 mg/kg, Cadmium: 0,5 mg/kg und Quecksilber: 0,5 mg/kg. Die Grenzwerte für Kobalt und Molybdän wurden überhaupt weggelassen.

Beim Arsen wird bisher, da in der Gesetzgebung kein Grenzwert angegeben ist, der international übliche Gehalt von 20 mg/kg als Richtwert verwendet.

Es sei angemerkt, dass diese Grenzwerte „de jure“ nur für den Oberboden (Acker 0 - 20 cm, alle anderen Flächen 0 - 10 cm) Geltung haben und damit im Dauergrünland eine entsprechende Berücksichtigung des zweiten Horizontes notwendig ist. Böden mit erhöhten Werten im Unterboden können jedoch trotzdem als belastete Standorte angesehen werden, sodass die gesetzlich vorgeschriebene Pflanzenprobenuntersuchung für Böden mit Grenzwertüberschreitungen auch dort erfolgte.

Der „Vater“ dieser Grenzwerte für die Bewertung von Schadstoffen in Böden („Richtwerte 1980“) ist Prof. Dr. Adolf Kloke vom Institut für wassergefährdende Stoffe an der Technischen Universität Berlin. Die „Richtwerte 1980“ repräsentieren in erster Linie die Bodensituation jener Region in der die ihrer Berechnung zu Grunde liegenden Untersuchungen durchgeführt wurden, die dortige Fragestellung, welcher die Richtwerte gerecht sein sollten und vermutlich auch die damaligen analytischen Möglichkeiten (Mo, Cd, Hg).

1986 waren diese Richtwerte für die Steiermark der wichtigste Anhaltspunkt einer Beurteilung der Untersuchungsergebnisse des Bodenschutzprogrammes. Nebenbei wurde auch mit aus der Literatur bekannten üblichen Bodengehalten verglichen.

1988 hat Prof. Kloke sein Beurteilungskonzept verfeinert und ein sogenanntes „Drei-Bereiche-System“ vorgeschlagen. Darin werden kurz gesagt drei Gehaltsbereiche (Unbedenklichkeitsbereich - Toleranzbereich - Toxizitätsbereich), je nach Bodennutzung noch weiter durch drei Bodenwerte (Unbedenklichkeitswert - Toleranzwert - Toxizitätswert) näher definiert.

Mit Abschluss der Untersuchungen im 4x4 km - Rastersystem in der Steiermark war es erstmals möglich die hiesige Bodenbelastung richtig einzuschätzen (Bodenschutzbericht 1998). "Bodenbelastungen" mit Arsen erwiesen sich als naturgegeben und unbedenklich - Cadmiumgehalte unter dem Grenzwert wurden als Umweltbelastung erkannt. Die wichtigsten Folgerungen aus diesen Untersuchungen waren:

- Bei der Erstellung von Richtwerten muss in erster Linie die gewünschte Aussage exakt definiert werden (z. B. das Erkennen von Umwelteinflüssen und erhöhtem geogenen Background) und dementsprechend ein passendes mathematisches Berechnungsverfahren gewählt werden.
- Bodenrichtwerte gelten streng genommen nur für eine begrenzte Region mit vergleichbarer Geologie und Umweltbelastung. Das heißt, dass Extremwerte von der Berechnung ausgenommen werden müssen. Wünschenswert wäre natürlich

eine möglichst genaue Differenzierung geologischer Einheiten, doch dafür ist ein 4x4 km - Raster zu grob.

Entsprechend diesen Überlegungen wurden aus den Ergebnissen der Bodenzustandsinventur jene Richtwerte ermittelt, welche die durchschnittliche Obergrenze des noch als natürlich anzusehenden Gehaltsbereiches der Schwermetalle im Boden darstellen (ausreißerbereinigte Mediangehalte der Unterböden). Sie wurden als **Normalwerte** bezeichnet und ermöglichen das Erkennen von nennenswerten anthropogenen Schwermetalleinträgen oder geologischen Anomalien in den Böden der Steiermark.

Schwermetall - Richtwerte:

Richtwerte (mg/kg)	Cu	Zn	Pb	Cr	Ni	Co	Mo	Cd	Hg	As
Grenzwerte bis 2007	100	300	100	100	60	50	10	2	1	(20)
Grenzwerte ab 2007	60	150	100	100	60	-	-	0,5	0,5	(20)
Normalwerte	60	160	50	80	70	30	1,6	0,5	0,3	40

Herkunft der Schwermetalle:

Zur weiteren Differenzierung zwischen anthropogener oder geogener Herkunft der Schwermetalle wurde für alle 1.000 Standorte rein rechnerisch die Differenz der Schwermetallgehalte aus Oberboden minus Unterboden gebildet. An Standorten, wo diese Differenz einen höheren Wert als der doppelte Vertrauensbereich ergibt, besteht der **Verdacht** auf eine anthropogene Beeinflussung (siehe nachstehende Tabelle).

Mit Hilfe dieses groben Rechenmodells erfolgte auch eine Abschätzung der ubiquitären Anreicherungen im Oberboden, welche möglicherweise auf Umwelteinflüsse zurückzuführen sind. Es sei dazu angemerkt, dass auch natürliche biologische und physikalisch-chemische Transportvorgänge im Boden Anteil an derartigen Anreicherungen haben können. Häufig führt auch das von Gewässern abgelagerte bodenbildende Schwemmaterial oder Hangwasser zur Anreicherung von Schwermetallen und anderen Schadstoffen im Oberboden. Diese können wiederum geogenen oder anthropogenen Ursprungs sein.

Abschätzung des vermutlich anthropogenen Schwermetallanteils im Oberboden belasteter Standorte im Vergleich zum üblichen Landesdurchschnitt:

mg/kg	Cu	Zn	Pb	Cr	Ni	Co	Mo	Cd	Hg	As
~ Einträge	10	37	16	20	10	5	0,4	0,20	0,12	5
Median Stmk.	25	95	27	40	26	13	0,9	0,28	0,13	12

Im Zuge der Auswertungen zeigte es sich, dass vor allem die beiden Schwermetalle **Cadmium** und **Blei** zu den häufigsten Umweltbelastungen zählen. Etwa 60 % der steirischen Böden weisen Anreicherungen von Blei und Cadmium im Oberboden auf; rund ein Drittel davon überschreitet auch den Normalwert, wobei hier die Summe aus der natürlichen geologischen Grundbelastung und den anthropogenen Einträgen maßgebend ist.

Eine Kontrolle der Zu- oder Abnahme der Schwermetallgehalte im Boden durch die in Arbeit befindliche **Bodendauerbeobachtung** ist, wegen der potentiellen Gefährdung von Mensch, Tier und Pflanzen durch diese Schadstoffgruppe, unumgänglich.

Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse

Bei der Beurteilung der Ergebnisse der Schwermetalluntersuchungen wurden nicht nur die Mittelwerte im Oberboden, sondern alle Untersuchungsjahre und Bodenhorizonte berücksichtigt.

Richtwertüberschreitungen im Bezirk Murtal:

Standort	Normalwert-Überschreitungen	Grenzwert-Überschreitungen*
KNI 2	Mo	
KNI 3	Mo	As
KNI 4	Mo	
KNI 6		As
KNI 9	Pb Cd	
KNI 11	Pb	
JUA 2	Cr	Ni
JUA 3	Zn, Pb, Cd	Zn
JUA 5	Mo	
JUA 6		As
JUA 9	Zn, Cd	
JUA 10	Cu, Cr, Ni, Co, Mo, As	Cr, Ni, As
JUB 1		As
JUB 2	Zn, Cr, Mo, Cd	Ni
JUB 3	Zn	Ni
JUB 4	Pb	
JUB 5	Pb	
JUB 6	Pb, Cd	
JUB 7	Pb, Cd	
JUB 8	Pb	Pb
KNA 6	Hg	
KNA 7		As
KNA 8		As
KNA 10		As
KNB 2	Pb, Mo	
KNB 6	Mo, As	As
VFD 1	As	As
VFD 2	Cu, Pb, Hg, As	Cu, As
VFD 6		As
VFE 1	Pb, Mo, Hg, Cd	Pb
VFE 2	Zn, Pb, Hg, Cd	Pb, As
VFE 3	Cu, Zn, Pb, Mo, Hg, Cd, As	Cu, Zn, Pb, Hg, Cd, As
VFE 4	Pb, Mo	As
VFE 5	Cu, Zn, Cr, Ni, Mo, Cd, As	Ni, As
VFE 6	Cu, Pb, Mo, Cd, Hg, As	Pb, As
JUX 7	Mo	
JUX 8	Mo	
JUX 11	Pb, Cd	Pb, As
JUX 12	Pb	As
JUX 14	Mo	
JUX 15	Mo	
JUX 16	As	As
JUX 18	Mo	

Standort	Normalwert-Überschreitungen	Grenzwert-Überschreitungen*
KNX 1	Zn	
KNX 2	Cr, Co	Cr
KNX 3	Hg	
KNX 4	Hg	
KNX 5	Hg	
KNX 6	As	As
KNX 7	Zn ,Pb, Cr, Hg, Cd, As	As
KNX 8	Pb	As
KNX 9	Pb	
KNX 10	Pb, Hg	

* Da die Bodenprobennahmen vor 2007 erfolgten, werden auch die damals gültigen Grenzwerte (vor der Novellierung am 31. 10. 2007) zur Beurteilung herangezogen.

Im Bezirk Murtal findet man an 46 von 84 untersuchten Standorten (55 %) Überschreitungen der Normalwerte (Vergleich Steiermark: 46 %).

Damit liegt die Schwermetallbelastung der untersuchten Böden über dem Landesdurchschnitt. Details werden bei der folgenden Diskussion der Schwermetalle im Einzelnen besprochen.

Kupfer (Cu):

Allgemeines:

Kupfer ist ein für die Ernährung aller Lebewesen essentielles Element. Bei Kupferüberschuss können jedoch toxische Wirkungen bei Pflanzen und einigen Tieren (Schafe, Wiederkäuer) auftreten. Für viele Bakterien und Viren ist Kupfer nach Cadmium und Zink sogar das giftigste Element. Gräser und Algen hingegen sind relativ kupfertolerant. Außerdem sind Wechselwirkungen mit anderen Metallen bekannt. So kann ein Kupferüberschuss im Boden einen Eisen- bzw. Molybdänmangel bei Pflanzen auslösen.

Nach Arbeiten der WHO benötigt der erwachsene Mensch täglich Kupfermengen von 0,03 mg/kg Körpergewicht (Kinder mehr: bis zu 0,08 mg/kg); Kupfermangelerscheinungen sind gleich wie eine chronische Kupfertoxizität beim Menschen sehr selten.

Untersuchungsergebnisse:

Kupfer (Cu) Normalwert: 60 mg/kg	Horizont 1	Horizont 2	Horizont 3
Minimum	2,70	1,20	1,20
Maximum	257,00	373,00	400,00
Mittelwert	30,00	31,22	33,09
Median - Murtal	25,73	25,30	27,00
Median - Steiermark	25,13	24,60	25,30

Die durchschnittlichen Kupfergehalte der untersuchten Böden im Bezirk Murtal entsprechen jenen der landesweiten Bodenzustandsinventur.

Anreicherungen im Oberboden - als Hinweis für mögliche anthropogene Einträge - sind beim Kupfer selten. Das Vorkommen des Schwermetalls in der Umwelt ist fast ausnahmslos auf eine natürliche, geogene Herkunft zurückzuführen. Dies ist in der obigen Tabelle gut aus der gleichmäßigen Verteilung über alle Bodenhorizonte erkennbar. Anthropogene Einträge erfolgen zumeist über Spritzmittel oder Wirtschaftsdünger.

Im Bezirk Murtal wurde am ehemaligen Arsen-Bergbaustandort Kothgraben bei Kleinfestritz (Standort **VFD 2**) eine Anreicherung im Oberboden festgestellt, welche auf die Bergbautätigkeiten zurückzuführen ist. Minimale Anreicherungen im Oberboden kann man auch am Standort **KNI 6** erkennen; sie stammen vermutlich aus dem jungen Schwemmmaterial des Aubodens der Mur.

Eine **Überschreitung des Normalwertes** (Gehalte > 60 ppm) wurde an fünf Standorten (**JUA 10, VFD 2, VFE 3, 5 + 6**) festgestellt. Alle Standorte liegen im Bereich ehemaliger Bergbaustandorte (Oberzeiring, Kothgraben) und zeugen vom Erzreichtum der Region.

An den beiden Standorten **VFD 2** und **VFE 3** ist auch der gesetzliche Grenzwert von 100 ppm Kupfer überschritten, sodass hier entsprechend der gesetzlichen Vorgabe der Pflanzenbewuchs untersucht wurde (Resultate siehe Seiten 68 f.).

Zink (Zn):

Allgemeines:

Zink ist ein für Pflanze, Tier und Mensch essentielles Spurenelement. Erst bei sehr hohen Gehalten im Boden wirkt es toxisch auf Pflanzen und Mikroorganismen. Auch für Tiere und Menschen ist Zink nicht sehr giftig. Viel häufiger gibt es Probleme durch Zinkmangel, sodass in der Futtermittelverordnung Minimalwerte für Zink vorgeschrieben werden. Zinkmangel in der Landwirtschaft wird zumeist über den aus dem EDTA-Extrakt abgeschätzten pflanzenverfügbaren Zinkanteil im Boden kontrolliert.

Der anthropogen verursachte Eintrag von Zink in unsere Umwelt erfolgt hauptsächlich durch industrielle Emissionen, durch Reifenabrieb (Reifen enthalten Zinkoxid) und Motorölzusätze von Kraftfahrzeugen. Dabei wird das Element neben der Ablagerung in unmittelbarer Umgebung zum Emittenten auch gebunden an kleinste Partikel fernverfrachtet.

Untersuchungsergebnisse:

Zink (Zn) Normalwert: 160 mg/kg	Horizont 1	Horizont 2	Horizont 3
Minimum	23,40	25,40	19,20
Maximum	399,10	440,00	440,00
Mittelwert	106,27	102,26	103,19
Median - Murtal	98,20	90,60	92,35
Median - Steiermark	94,95	85,40	77,40

Die durchschnittlichen Zinkgehalte der untersuchten Böden im Bezirk Murtal sind gegenüber jenen der landesweiten Bodenzustandsinventur vor allem im Unterboden erhöht, was auf einen höheren geogenen Background zurückzuführen ist.

Anreicherungen im Oberboden, welche auf anthropogene Einflüsse (Industrie, Verkehr, etc.) schließen lassen, sind im Bezirk Murtal vernachlässigbar.

An 9 Untersuchungsstellen (**JUA 3 + 9, JUB 2 + 3, VFE 2, 3 + 5, KNX 1 + 7**) findet man **Überschreitungen des Normalwertes** (Gehalte > 160 ppm). Die Ursache der erhöhten Zinkgehalte ist hauptsächlich geogen bedingt.

An den beiden Grünlandstandorten **JUA 3** und **VFE 3** ist auch der gesetzliche Grenzwert von 300 ppm Zink überschritten, sodass hier entsprechend der gesetzlichen Vorgabe der Pflanzenbewuchs untersucht wurde (Resultate siehe Seiten 68 f.).

Blei (Pb):

Allgemeines:

Blei ist kein essentielles Spurenelement und besitzt ein hohes toxisches Gefährdungspotential. Das durch menschliche Aktivitäten in die Umwelt gebrachte Blei kann sich im Boden und in Organismen anreichern. Es besitzt eine hohe biologische Halbwertszeit, welche beim Menschen 5-20 Jahre beträgt, sodass mit zunehmendem Alter der Bleigehalt im menschlichen Körper ansteigt.

Die Bleiaufnahme in den Körper erfolgt über die Nahrung und die Atemluft. Laut FAO/WHO wird eine Bleiaufnahme bis zu 3 mg/Woche (für eine 70 kg schwere Person) als tolerierbar angesehen. Als Indikator für eine Bleibelastung wird der Bleigehalt im Blut herangezogen. Bei Blut - Bleigehalten von mehr als 0,5 mg/l für Erwachsene bzw. 0,25 mg/l für Kinder können chronische Vergiftungen auftreten.

Emissionsquellen für Blei sind der Kfz-Verkehr, die Industrie und die Kohleverbrennung. Obwohl durch das Verbot der Verwendung von Treibstoffen mit Bleizusatz in Österreich ein weiterer Bleieintrag in die Umwelt gebremst wird, werden uns die bisher eingebrachten Bleibelastungen noch weiterhin sehr lange erhalten bleiben. Abgesehen davon enthalten auch unverbleite Treibstoffe noch Spuren von Blei.

Untersuchungsergebnisse:

Blei (Pb) Normalwert: 50 mg/kg	Horizont 1	Horizont 2	Horizont 3
Minimum	8,00	6,20	3,20
Maximum	10.320,00	16.520,00	17.880,00
Mittelwert	134,35	224,77	261,37
Median - Murtal	30,12	23,10	18,10
Median - Steiermark	27,44	21,60	15,45

Die durchschnittlichen Bleigehalte der untersuchten Böden im Bezirk Murtal sind gegenüber jenen der landesweiten Bodenzustandsinventur minimal erhöht.

Extrem hohe Gehalte über 10.000 mg/kg findet man am ehemaligen Bergbaustandort **VFE 3** bei Oberzeiring.

Beim Blei findet man auch häufiger Anreicherungen im Oberboden, was an 24 Untersuchungsstandorten auf anthropogene Einflüsse (historischer Bergbau, Industrie, Verkehr, etc.) schließen lässt.

An 21 Untersuchungsstellen (siehe Tabelle Seiten 56-57) findet man **Überschreitungen des Normalwertes** (Gehalte > 50 ppm). Die Ursache der erhöhten Bleigehalte ist meist auf einen hohen geogenen Anteil an natürlichen Bleierzen, der von anthropogenen Einträgen überlagert wird, zurückzuführen.

An den sechs Standorten **JUB 8, VFE 1, 2, 3 + 6** und **JUX 13** ist auch der gesetzliche Grenzwert von 100 ppm Blei überschritten, sodass hier entsprechend der gesetzlichen Vorgabe der Pflanzenbewuchs untersucht wurde (Resultate siehe Seiten 68 f.).

Chrom (Cr):

Allgemeines:

Chrom ist ein für Pflanzen sehr wahrscheinlich entbehrliches, für Mensch und Tier dagegen essentielles Element. Seine toxischen Wirkungen sind stark von der Oxidationsstufe abhängig. So ist 6-wertiges Chrom 100 bis 1000-mal giftiger als 3-wertiges. Bei arbeitsplatzbedingter Inhalation von Chrom (VI) - Verbindungen treten nach langen Latenzzeiten auch Krebserkrankungen der Atmungsorgane auf. Die Hauptmenge an Chrom wird normalerweise jedoch oral über die Nahrung und das Trinkwasser aufgenommen, wobei die Verweilzeit im Körper wesentlich kürzer ist, als beim Blei.

Untersuchungsergebnisse:

Chrom (Cr) Normalwert: 80 mg/kg	Horizont 1	Horizont 2	Horizont 3
Minimum	5,30	7,31	7,80
Maximum	163,80	160,50	129,50
Mittelwert	44,68	47,43	49,38
Median - Murtal	46,13	47,70	48,50
Median - Steiermark	39,93	39,70	40,60

Die durchschnittlichen Chromgehalte der untersuchten Böden im Bezirk Murtal sind gegenüber der landesweiten Bodenzustandsinventur erhöht, was wie auch bei anderen Schwermetallen auf den höheren geogenen Background der Region zurückzuführen ist.

Anreicherungen im Oberboden - als Hinweis für mögliche anthropogene Einträge - sind beim Chrom ähnlich dem Kupfer selten. Das Vorkommen des Schwermetalls in der Umwelt ist fast ausnahmslos auf eine natürliche, geogene Herkunft zurückzuführen. Dies ist in der obigen Tabelle gut aus der gleichmäßigen Verteilung in den drei untersuchten Bodenhorizonten zu erkennen.

An 6 Untersuchungsstellen (**JUA 2 + 10**, **JUB 2**, **VFE 5** und **KNX 2 + 7**) kommt es zu **Überschreitungen des Normalwertes** (Gehalte > 80 ppm). Die Herkunft des Schadstoffes ist überwiegend geogen erklärbar.

Am Standort **JUA 10** und in geringfügigem Ausmaß im Unterboden des Standortes **KNX 2** ist auch der gesetzliche Grenzwert von 100 ppm Chrom überschritten, sodass hier entsprechend der gesetzlichen Vorgabe der Pflanzenbewuchs untersucht wurde (Resultate siehe Seiten 68 f.).

Nickel (Ni):

Allgemeines:

Nickel ist für einige lebende Organismen ein essentielles Spurenelement. Seine Toxizität ist stark von der Art der Verbindung abhängig. So ist seine 2-wertige wasserlösliche Form wenig toxisch (gegebenenfalls treten Dermatitisfälle auf). Andere Nickelverbindungen (z. B.: Nickelstäube) erwiesen sich als krebserregend oder teratogen. Bekannt ist Nickel auch als Auslöser allergischer Reaktionen.

Untersuchungsergebnisse:

Nickel (Ni) Normalwert: 70 mg/kg	Horizont 1	Horizont 2	Horizont 3
Minimum	0,70	2,10	1,70
Maximum	96,30	98,00	89,80
Mittelwert	28,29	29,79	32,49
Median - Murtal	27,83	29,60	32,50
Median - Steiermark	26,35	28,80	31,00

Die durchschnittlichen Nickelgehalte der untersuchten Böden im Bezirk Murtal sind nur geringfügig höher als jene der landesweiten Bodenzustandsinventur.

Anreicherungen im Oberboden - als Hinweis für mögliche anthropogene Einträge - sind beim Nickel kein Thema. Das Vorkommen des Schwermetalls in der Umwelt ist fast ausschließlich auf eine natürliche, geogene Herkunft zurückzuführen. Dies ist in der obigen Tabelle gut aus den zum unteren Horizont hin leicht zunehmenden Gehalten erkennbar.

An 2 Untersuchungsstellen (**JUA 10** und **VFE 5**) kommt es zu **Überschreitungen des Normalwertes** (Gehalte > 70 ppm). Die Herkunft des Schadstoffes ist geogen erklärbar.

An den 5 Standorten **JUA 2 + 10**, **JUB 2 + 3** und **VFE 5** ist der gesetzliche Grenzwert von 60 ppm Nickel überschritten, sodass hier entsprechend der gesetzlichen Vorgabe der Pflanzenbewuchs untersucht wurde (Resultate siehe Seiten 68 f.).

Kobalt (Co):

Allgemeines:

Kobalt ist für Mensch und Tier ein essentielles Spurenelement und ist im Vitamin B₁₂ für die Erhaltung der Gesundheit erforderlich. Der Bedarf an Vitamin B₁₂ ist gering und kann problemlos durch mäßige Fleisch- und Fischernährung gedeckt werden. Das toxische Potential von Kobalt ist bei oraler Aufnahme für den Menschen gering. Gefahren durch eine Kobaltbelastung bestehen im Bereich der metallverarbeitenden Industrie, wo es zu den als krebserzeugend ausgewiesenen Arbeitsstoffen zählt. Vereinzelt treten auch allergische Reaktionen durch den Kontakt mit kobalthaltigen Gegenständen auf.

Kobalt ist im Boden nur zu einem kleinen Anteil pflanzenverfügbar, wobei kobaltarme Böden meist nur einen Gehalt von 1-5 mg/kg aufweisen. Weidefutter sollte zur Vermeidung von Kobaltmangel mindestens 0,08 mg/kg Kobalt in der Trockensubstanz aufweisen.

Untersuchungsergebnisse:

Kobalt (Co) Normalwert: 30 mg/kg	Horizont 1	Horizont 2	Horizont 3
Minimum	1,90	4,00	2,80
Maximum	41,20	38,80	34,60
Mittelwert	13,52	14,89	16,23
Median - Murtal	13,78	14,90	16,25
Median - Steiermark	12,70	13,60	14,50

Die durchschnittlichen Kobaltgehalte der untersuchten Böden im Bezirk Murtal sind wegen des schon erwähnten höheren geogenen Backgrounds an Schwermetallen etwas höher als jene der landesweiten Bodenzustandsinventur.

Anreicherungen im Oberboden - als Hinweis für mögliche anthropogene Einträge - konnten auch beim Kobalt nur in vernachlässigbaren Ausnahmefällen festgestellt werden. Das Vorkommen des Schwermetalls in der Umwelt ist daher fast ausschließlich auf eine natürliche, geogene Herkunft zurückzuführen. Dies ist in der obigen Tabelle gut aus den zum unteren Horizont hin zunehmenden Gehalten erkennbar.

An 2 Untersuchungsstellen (**JUA 10** und **KNX 2**) kommt es zu **Überschreitungen des Normalwertes** (Gehalte > 30 ppm). Die Herkunft des Schadstoffes ist geogen erklärbar.

Überschreitungen des gesetzlichen Grenzwertes von 50 ppm Kobalt wurden nicht festgestellt.

Molybdän (Mo):

Allgemeines:

Das für Pflanzen, Tiere und Menschen lebensnotwendige Schwermetall Molybdän ist weit verbreitet und wird im Boden als Molybdat-Anion freigesetzt. Seine Verfügbarkeit steigt mit höherem pH-Wert, sodass sich eine Kalkung saurer Böden bei Molybdänmangel positiv auswirkt. Der Molybdängehalt in Pflanzen liegt normalerweise zwischen 0,1 - 0,3 mg/kg bezogen auf die Trockensubstanz. Eine industrielle Verschmutzung kann deutlich höhere Gehalte verursachen, wobei auch schon Vergiftungserscheinungen bei Rindern beobachtet wurden.

Untersuchungsergebnisse:

Molybdän (Mo) Normalwert: 1,6 mg/kg	Horizont 1	Horizont 2	Horizont 3
Minimum	0,32	0,18	0,03
Maximum	3,68	3,78	3,39
Mittelwert	1,10	0,93	0,82
Median - Murtal	1,00	0,81	0,73
Median - Steiermark	0,89	0,75	0,66

Die durchschnittlichen Molybdängehalte der untersuchten Böden im Bezirk Murtal sind höher als jene der landesweiten Bodenzustandsinventur. Dies ist auf einen erhöhten geogenen Background und anthropogene Einträge zurückzuführen.

An rund 29 % der Untersuchungsstandorte sind aus der Profilanalyse anthropogene Einflüsse ableitbar. Dies ist auch aus den zum Oberboden hin ansteigenden Werten der Durchschnittsgehalte in der obigen Tabelle gut erkennbar. Ursache sind hauptsächlich Einträge aus der eisenverarbeitenden Industrie.

An 18 Untersuchungsstellen (siehe Tabelle Seiten 56-57) findet man **Überschreitungen des Normalwertes** (Gehalte > 1,6 ppm). Die Ursache der erhöhten Molybdängehalte ist auf den geogenen Anteil an natürlichen Molybdänerzen, der von anthropogenen Einträgen überlagert wird, zurückzuführen.

Überschreitungen des gesetzlichen Grenzwertes von 10 ppm Molybdän wurden nicht festgestellt.

Cadmium (Cd):

Allgemeines:

Cadmium ist ein für Tier und Mensch bereits in geringen Konzentrationen toxisch wirkendes Element. Laut WHO - Empfehlung sollen dem menschlichen Körper täglich nicht mehr als 1 µg Cd pro kg Körpergewicht zugeführt werden. Erwähnenswert ist in diesem Zusammenhang auch die beträchtliche Cadmiumaufnahme durch Zigarettenrauch. Da die biologische Halbwertszeit von Cadmium beim Menschen sehr lang ist (19-38 Jahre), steigt der Cadmiumgehalt von Leber und Nieren mit zunehmendem Alter und die Gefahr einer Nierenfunktionsstörung nimmt zu. Zudem wurde im Tierversuch auch ein krebserregendes, mutagenes und teratogenes Potential beobachtet. In Kombination mit anderen Schwermetallen sind antagonistische und synergistische Effekte bekannt.

Toxische Wirkungen auf Pflanzen hängen stark von der Pflanzenart ab, treten aber meist erst bei höheren Konzentrationen im Boden auf. So wurden in Vegetationsversuchen erst ab 5 mg Cd / kg Boden und etwa 10 mg Cd / kg Pflanzen Ertragsminderungen festgestellt. Dabei ist aber die verstärkende Wirkung durch das Vorhandensein anderer Schwermetalle nicht berücksichtigt.

Der natürliche Cadmiumgehalt von Böden korreliert mit dem des Zink. Beide Elemente sind leicht mobilisierbar. Vor allem bei pH-Werten unter 6 steigt die Löslichkeit von Cadmium im Boden stark an, sodass bei belasteten sauren Böden eine Aufkalkung zu empfehlen ist.

Quellen für den vom Menschen verursachten Cadmиеintrag in Böden sind die metallverarbeitende Industrie, der Kfz-Verkehr, Feuerungs- und Müllverbrennungsanlagen, sowie die Aufbringung von Klärschlamm und Phosphatdüngern.

Untersuchungsergebnisse:

Cadmium (Cd) Normalwert: 0,5 mg/kg	Horizont 1	Horizont 2	Horizont 3
Minimum	0,08	0,00	0,00
Maximum	1,50	2,13	2,09
Mittelwert	0,32	0,20	0,18
Median - Murtal	0,27	0,13	0,11
Median - Steiermark	0,28	0,17	0,10

Die durchschnittlichen Cadmiumgehalte der untersuchten Böden im Bezirk Murtal sind mit jenen der landesweiten Bodenzustandsinventur vergleichbar.

An rund 14 % der Untersuchungsstandorte sind aus der Profilanalyse anthropogene Einflüsse (Industrie, Verkehr, etc.) ableitbar, was die Rolle des Cadmiums als ubiquitären Umweltschadstoff beweist und am Anstieg der Gehalte zum Oberboden hin in der obigen Tabelle deutlich ersichtlich ist.

An 13 Untersuchungsstellen (siehe Tabelle Seiten 56-57) findet man **Überschreitungen des Normalwertes** (Gehalte > 0,5 ppm). Die Ursache der erhöhten Cadmiumgehalte ist meist auf den geogenen Anteil an natürlichen Cadmiumerzen, der von anthropogenen Einträgen überlagert wird, zurückzuführen.

Am ehemaligen Bergbaustandort **VFE 3** ist in den unteren beiden Bodenhorizonten auch der gesetzliche Grenzwert von 2 ppm Cadmium überschritten, sodass hier entsprechend der gesetzlichen Vorgabe der Pflanzenbewuchs untersucht wurde (Resultate siehe Seiten 68 f.).

Quecksilber (Hg):

Allgemeines:

Quecksilberverbindungen (vor allem organische wie Methylquecksilber) sind stark toxisch für Mensch und Tier. Auch mutagene und teratogene Wirkungen sind bekannt. Die WHO sieht für den Menschen eine wöchentliche Maximaldosis von 0,35 mg (für eine 70 kg schwere Person) als tolerierbar an. Die Hauptaufnahmekategorie bei der Nahrung stellt der Verzehr von Meerestieren dar.

Die Quecksilberbelastung der Umwelt passiert wegen des hohen Dampfdruckes von Quecksilber etwa zu zwei Drittel aus natürlichen Quellen und zu einem Drittel durch menschliche Aktivitäten, wobei die Anwendung von quecksilberhaltigen Fungiziden und Beizmitteln heute verboten ist.

Im Boden wird Quecksilber sehr stark durch den Humus gebunden, sodass seine Mobilisierbarkeit außerordentlich gering ist und erhöhte Pflanzengehalte auch bei stark kontaminierten Böden selten sind. Quecksilberanreicherungen sind nur in wenigen Pflanzen wie Algen und Pilzen von Bedeutung.

Untersuchungsergebnisse:

Quecksilber (Hg) Normalwert: 0,3 mg/kg	Horizont 1	Horizont 2	Horizont 3
Minimum	0,03	0,02	0,01
Maximum	1,33	1,73	1,76
Mittelwert	0,16	0,12	0,09
Median - Murtal	0,13	0,09	0,07
Median - Steiermark	0,13	0,10	0,08

Die durchschnittlichen Quecksilbergehalte der untersuchten Böden im Bezirk Murtal stimmen mit jenen der landesweiten Bodenzustandsinventur sehr gut überein.

An rund 13 % der Untersuchungsstandorte sind beim Quecksilber auch anthropogene Einflüsse (Anreicherungen im Oberboden) feststellbar. Dies ist auch aus den zum Oberboden hin leicht ansteigenden Werten der Durchschnittsgehalte in der obigen Tabelle erkennbar.

An 11 Untersuchungsstellen (siehe Tabelle Seiten 56-57) findet man **Überschreitungen des Normalwertes** (Gehalte > 0,3 ppm). Die Ursache der erhöhten Quecksilbergehalte ist meist auf den geogenen Anteil an natürlichen Quecksilbererzen, der fallweise von anthropogenen Einträgen überlagert wird, zurückzuführen.

Am ehemaligen Bergbaustandort VFE 3 ist auch der gesetzliche Grenzwert von Quecksilber überschritten, sodass hier entsprechend der gesetzlichen Vorgabe der Pflanzenbewuchs untersucht wurde (Resultate siehe Seiten 68 f.).

Arsen (As):

Allgemeines:

Bei einer Betrachtung der Toxikologie des Arsen müssen seine beiden Oxidationsstufen berücksichtigt werden. So ist dreiwertiges Arsen besonders giftig und verursacht Hautkrebs. Arsen ist vermutlich auch co-karzinogen, mutagen und teratogen.

Seine gebietsweise häufige Verbreitung in oft beträchtlichen Konzentrationen ist zumeist geogener Natur. Anthropogen verursachte Einträge im Boden findet man vor allem in der Nähe von Schmelzereien. Weitere Arsenimmissionen erfolgen durch die Verbrennung von Kohle und Schieferöl. Auch die früher übliche landwirtschaftliche Anwendung von Arsen-hältigen Schädlingsbekämpfungsmitteln kann fallweise kleinräumig Probleme bereiten. Ein noch umstrittenes Thema ist die Verwendung von arsenhaltiger roter Asche auf Sportplätzen.

Die Hauptaufnahmequelle des Menschen stellt der Verzehr von Meerestieren und Reis sowie Getreide dar. Man vermutet sogar, dass Arsen für Mensch und Tier innerhalb einer schmalen Wirkungsbreite ein essentielles Spurenelement ist. Erstaunlich ist auch der Antagonismus von Arsen und Selen, welche zusammen deutlich weniger giftig sind als einzeln. Die WHO/FAO empfiehlt, dass die tägliche Nahrungsaufnahme von Arsen 0,05 mg/kg Körpergewicht nicht übersteigt.

Untersuchungsergebnisse:

Arsen (As) Normalwert: 40 mg/kg	Horizont 1	Horizont 2	Horizont 3
Minimum	1,50	0,80	0,30
Maximum	864,00	1477,00	528,00
Mittelwert	37,67	48,49	40,21
Median - Murtal	9,07	7,80	8,65
Median - Steiermark	11,55	12,20	12,30

Die durchschnittlichen Arsengehalte der untersuchten Böden im Bezirk Murtal sind verglichen mit jenen der landesweiten Bodenzustandsinventur niedriger.

Anreicherungen im Oberboden - als Hinweis für mögliche anthropogene Einträge - sind beim Arsen eher selten und treten nur in Ausnahmefällen (Auböden mit Einträgen aus Überschwemmungsereignissen, Hangwasser und erzeicher Hangschutt) auf. Am ehemaligen Arsenbergbaustandort **VFD 2** setzen sich die extrem hohen Gehalte aus geogenen und anthropogenen Anteilen zusammen. Ansonsten ist das Vorkommen des Schwermetalls in der Umwelt meist auf eine natürliche, geogene Herkunft zurückzuführen. Dies ist in der obigen Tabelle aus der gleichmäßigen Gehaltsverteilung in den untersuchten Bodenhorizonten erkennbar.

An 10 Untersuchungsstellen (siehe Tabelle Seiten 56-57) kommt es zu **Überschreitungen des Normalwertes** (Gehalte > 40 ppm). Größtenteils betroffen sind erzeiche Standorte mit erhöhtem geogenen Background und Auböden mit Einträgen aus dem bodenbildenden Schwemmmaterial.

An 22 Standorten ist der internationale Richtwert von 20 ppm Arsen überschritten, so dass hier der Pflanzenbewuchs untersucht wurde (Resultate siehe Seiten 68 f.).

Die Untersuchung von Pflanzenproben an Standorten mit Grenzwert-überschreitenden Schwermetallgehalten (§ 3 der Bodenschutzprogramm-Verordnung)

Um einen möglichen **Transfer der Schwermetalle** vom Boden in die Pflanzen zu kontrollieren, erfolgen an den Standorten mit Schwermetallgehalten über dem gesetzlichen Grenzwert Pflanzenuntersuchungen.

Zur Bewertung der Ergebnisse werden folgende als „normal“ angesehenen **Orientierungswerte** für Schwermetallgehalte in Pflanzen (laut „Lehrbuch der Bodenkunde“ von Scheffer und Schachtschabel, 1984) herangezogen (Angaben in mg/kg Trockensubstanz):

Cu	3 - 30	Ni	0,1 - 3
Zn	10 - 100	Cd	0,05 - 0,4
Pb	0,1 - 6	Hg	0,002 - 0,04
Cr	0,1 - 1	As	0,1 - 1

Weitere Beurteilungsgrundlagen:

Futtermittelverordnung 2010 (As, Pb, Cd, Hg)

Lebensmittel-Richtwerte lt. VO 466/2001 (Pb, Cd, Hg)

Hier werden fallweise für konkrete pflanzliche Produkte zu speziellen Schwermetallen Höchstgehalte bzw. Richtwerte angeführt.

Für die beiden Elemente **Kobalt** und **Molybdän** sind keine Richtwerte bekannt, außer dass Weidefutter zur Vermeidung von Kobaltmangel mindestens 0,08 mg/kg Kobalt in der Trockensubstanz aufweisen sollte.

Nach den bisherigen Ergebnissen der Untersuchungen des Bodenschutzprogrammes liegen Kobaltgehalte von Grasproben üblicherweise unter 0,3 mg/kg Co, jene von Molybdän unter 4 mg/kg Mo in der Trockensubstanz.

Durch Vergleich der Orientierungswerte mit den bisher im Zuge der Untersuchungen des Bodenschutzprogrammes gefundenen Gehalten wurde festgestellt, dass es sowohl an Standorten mit erhöhten Schwermetallgehalten im Boden als auch bei unbelasteten Kontrollböden manchmal zu Schwermetallbelastungen in den Pflanzen kommt. Daraus erkennt man, dass es nicht möglich ist, von Bodengehalten auf Pflanzenbelastungen und somit auf eventuelle Gefährdungen zu schließen. Seit dem Jahr 2000 werden daher im Zuge der Zehn-Jahreskontrollen an allen Standorten des Bodenschutzprogrammes Pflanzenproben auf alle Schwermetalle hin untersucht.

Untersuchungsergebnisse im Bezirk Murtal: Schwermetallgehalte in mg/kg TS.

Pflanzengehalte der Standorte mit erhöhten Schwermetallwerten im Boden:

Kennung	Pflanze	Cu	Zn	Pb	Cr	Ni	Co	Mo	Cd	Hg	As
KNI 3 - 1989	Gras 1										1,60
	Gras 2										0,75
KNI 3 - 1996	Gras 3										< 0,5
	Gras 4										< 0,5
KNI 6 - 1989	Gras 1										0,22
	Gras 2										0,56
KNI 6 - 1996	Mais-St.										< 0,5
	Mais-Bl.										< 0,5
	Mais-Ko.										< 0,5
KNA 7 - 1994	Gras 1										< 0,5
	Gras 2										< 0,5
KNA 8 - 1994	Gras 1										< 0,5
	Gras 2										< 0,5
KNA 10 - 1994	Gras 1										< 0,5
	Gras 2										< 0,5
KNB 6 - 1997	Gras 1										< 0,5
	Gras 2										0,30
KNX 2 - 2005	Gras 1	4,50	23,57	0,54	0,32	0,64	< 0,08	0,28	0,05	< 0,01	< 0,5
KNX 6 - 2008	Gras 1	8,25	28,08	0,21	0,32	1,93	< 0,08	1,18	0,05	0,02	< 0,5
KNX 7 - 2005	Gras 1	6,60	35,27	0,43	0,32	1,41	< 0,08	1,00	0,05	< 0,01	< 0,5
KNX 8 - 2005	Gras 1	5,91	59,91	0,64	0,11	1,29	< 0,08	0,47	0,12	< 0,01	< 0,5
JUA 2 - 1994	Gras 1					1,84					
	Gras 2					1,46					
JUA 3 - 1994	Gras 1		40,50								
	Gras 2		51,20								
JUA 6 - 1994	Weizen-St.										0,31
JUA 10 - 1994	Gras 1				1,51	5,38					0,51
	Gras 2				0,33	4,14					0,88
JUB 1 - 1994	Gras 1										< 0,5
	Gras 2										< 0,5
JUB 2 - 1994	Gras 1					1,26					
	Gras 2					1,02					
JUB 3 - 1993	Gras 1					1,07					
	Gras 2					4,54					
JUB 8 - 1993	Gras 1			8,33							
	Gras 2			6,19							
JUX 11 - 2006	Gras 1	12,03	44,31	0,77	0,55	0,77	0,08	3,28	0,15	< 0,01	< 0,5
JUX 12 - 2006	Gras 1	8,47	58,77	0,99	0,33	3,30	< 0,08	0,34	0,19	< 0,01	< 0,5
JUX 16 - 2006	Gras 1	7,71	35,38	0,65	0,54	1,63	< 0,08	1,04	0,10	< 0,01	
VFD 1 - 1999	Gras 1										0,40
	Gras 2										0,53
VFD 2 - 1999	Gras 1	7,90									0,92
	Gras 2	7,50									0,91
VFD 6 - 1999	Gras 1										< 0,5
	Gras 2										< 0,5

fett: Gehalte > Orientierungswerte

Kennung	Pflanze	Cu	Zn	Pb	Cr	Ni	Co	Mo	Cd	Hg	As
VFE 1 - 1999	Gras 1			0,51							
	Gras 2			0,73							
VFE 2 - 1999	Gras 1			0,40							< 0,5
	Gras 2			0,32							< 0,5
VFE 3 - 1999	Gras 1	11,40	47,68	34,95					0,12	0,02	2,18
	Gras 2	11,90	44,68	61,35					0,12	0,03	5,14
VFE 3 - 2000	Gras 3	8,80	28,20	0,75					0,08	0,01	< 0,5
VFE 4 - 1999	Gras 1										0,32
	Gras 2										0,33
VFE 5 - 1999	Gras 1					2,53					< 0,5
	Gras 2					2,78					< 0,5
VFE 6 - 1999	Gras 1			1,42							< 0,5
	Gras 2			0,98							< 0,5

fett: Gehalte > Orientierungswerte

An einigen Standorten wurden im untersuchten Pflanzenmaterial Schwermetallgehalte **über** den Orientierungswerten festgestellt. Um abzuklären, ob es sich dabei um vernachlässigbare Ausreißer oder ernstzunehmende Belastungen handelt, müssen noch weitere Pflanzenuntersuchungen erfolgen. Diese werden üblicherweise zusammen mit den Probenahmen der in Arbeit befindlichen **Bodendauerbeobachtung** durchgeführt.

Die **hohen Bleigehalte** im Grünschnitt der Standorte **JUB 8** und **VFE 3** würden laut Futtermittel-Verordnung 2010 eine Verwendung als Alleinfuttermittel (Höchstgehalt 5,68 mg/kg TS) verbieten. **JUB 8** ist jedoch ein Hochalmstandort ohne landwirtschaftliche Nutzung (Truppenübungsplatz). Die **erhöhten Arsengehalte** am Standort **VFE 3** liegen unter den Futtermittel-Richtwerten (Alleinfuttermittel: 2,27 mg/kg TS). Außerdem wurden die hohen Blei- und Arsengehalte des Standortes **VFE 3** nur im Jahr 1999 festgestellt und sind wahrscheinlich auf eine Verschmutzung der Pflanzenproben durch anhaftende Bodenpartikel zurückzuführen, bei der Probenahme im Jahr 2000 lagen die Werte im normalen Bereich.

Die fallweise erhöhten **Chrom- und Nickelgehalte** sind noch durch weitere Probenahmen abzuklären.

Generell kann gesagt werden, dass die Kontamination von Pflanzen mit Schwermetallen - wenn nicht ein unmittelbarer Staubemittler in der Nähe ist - über aufgewirbelte Bodenpartikel beim Mähen, durch den Weidebetrieb oder über das Spritzwasser bei starken Regenfällen erfolgt. Eine Belastung über das von den Wurzeln aufgenommene Bodenwasser ist wegen der schlechten Pflanzenverfügbarkeit der Schwermetalle wenig wahrscheinlich.

An einigen Grünlandstandorten wurde ein Kobaltgehalt unter 0,08 mg/kg TS festgestellt, sodass hier **Kobaltmangel** möglich ist. Sollte sich bei den Nutztieren ein Hinweis auf eine Mangelkrankung ergeben, ist eine entsprechende Ernährungsergänzung in Erwägung zu ziehen.

Organische Schadstoffe:

Die chlorierten Kohlenwasserstoffe (HCB, Lindan und DDT):

Allgemeines:

Die landwirtschaftliche Anwendung dieser 3 Schadstoffe ist zwar schon lange verboten, doch bedingt durch ihre Langlebigkeit sind sie auch heute noch immer wieder im Boden nachweisbar. Auf Grund ihres lipophilen (fettliebenden) Charakters werden sie bevorzugt in fetthaltigen Pflanzenteilen angereichert und im Fettgewebe von Lebewesen gespeichert. Sie besitzen eine hohe biologische Halbwertszeit.

HCB (Hexachlorbenzol) war früher als Fungizid in Verwendung und kommt als Verunreinigung in diversen Chemikalien vor. Seine Verbreitung in die Umwelt findet daher auch heute noch statt (Müllverbrennung, Industrie).

Lindan war früher ein weit verbreitetes Insektizid, welches vor allem in der Forstwirtschaft bei der Borkenkäferbekämpfung eingesetzt wurde. Seine chemische Bezeichnung lautet γ -Hexachlorcyclohexan bzw. γ -HCH.

DDT (Dichlor-diphenyl-trichlorethan) war jahrzehntelang als universelles Insektizid (zum Beispiel: Kartoffelkäferbekämpfung) im Einsatz.

Die Bestimmung dieser 3 Schadstoffe erfolgt nach gemeinsamer Aufarbeitung zusammen mit den polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen durch eine Aceton-Extraktion und Messung mittels ECD - GC.

Ihre Bestimmung wird generell nur im Oberboden durchgeführt, Unterböden werden nur bei positiven Befunden des Oberbodens untersucht, um eine eventuelle Tiefenverlagerung erkennen zu können.

Die **Bestimmungsgrenze** der Substanzen lag bis 2006 bei 15 ppb ($\mu\text{g}/\text{kg}$). Unter der Bestimmungsgrenze ist eine Quantifizierung von Ergebnissen nicht seriös - ein qualitativer Nachweis von Rückständen ist aber bis zur so genannten **Nachweisgrenze** möglich.

Die Bestimmungs- und Nachweisgrenzen verbessern sich im Laufe der Zeit. Ab 2006 konnten die Bestimmungsgrenzen für chlorierte Kohlenwasserstoffe im Boden durch den Neukauf von Analysegeräten auf 1 ppb gesenkt werden.

Untersuchungsergebnisse:

Bei den Untersuchungen der 84 Standorte im Bezirk Murtal wurden in den Böden keine **Lindan-Rückstände** festgestellt.

Auch beim **HCB** und **DDT** wurden in den ersten beiden Untersuchungsjahren aufgrund der höheren Bestimmungsgrenzen keine Rückstände gefunden. Erst im Zuge der Bodendauerbeobachtung waren wegen der verbesserten Bestimmungsgrenzen an einigen Standorten minimale Rückstände nachzuweisen:

VFD 6 (2007): 2 ppb HCB

KNI 3 (2006): 1 ppb DDT

KNI 4 (2006): 1 ppb DDT

KNI 9 (2006): 1 ppb DDT

VFD 6 (2007): 6 ppb DDT

Die polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAH's):

Allgemeines:

Die Abkürzung „PAH's“ oder "PAH" für diese Substanzklasse entstammt der englischsprachigen Literatur („polycyclic aromatic hydrocarbons“); weiters üblich sind auch „PAK“ (von „polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen“) und „PCA“ (von „polycyclische Aromaten“) aus der deutschsprachigen Schreibweise.

PAH's entstehen bei diversen Verbrennungsvorgängen, egal ob es sich um eine Verbrennung von Kohle, Öl, Kraftstoffen, Holz oder Zigarettentabak handelt. Bei der alleinigen Verbrennung einer organischen Substanz (z. B.: Erdöl) entsteht zwar ein charakteristisches Verteilungsmuster der PAH - Einzelsubstanzen (PAH-Profil), dennoch ist eine Verursachenermittlung über den PAH - Gehalt einer Bodenprobe kaum möglich, da das gefundene PAH-Profil immer ein Mischprofil aus mehreren Quellen darstellt. Dennoch ist eine Bestimmung der PAH's im Boden von großem Wert, weil der PAH - Gehalt neben den Schwermetallgehalten ein universeller Indikator für die Umweltbelastung des untersuchten Standortes ist.

Bei den Vertretern dieser Schadstoffe handelt es sich meist um stark toxische, krebserzeugende, mutagene (erbgutverändernde) und teratogene (den Fötus schädigende) Substanzen. Die größten Emissionsquellen sind Industrie, Hausbrand, Kraftstoffverbrennungsmaschinen und natürliche Brände. Die Verbreitung der PAH's erfolgt über feine Rußpartikel, an welchen die Schadstoffe adsorbiert sind. Besonderes Augenmerk sollte daher der Rußpartikel - Emission aus den Dieselmotoren des ständig wachsenden Schwerverkehrs und der zunehmend großen Anzahl dieselbetriebener Pkw's gewidmet werden.

PAH's sind heute ubiquitär verbreitet und werden auch in den entlegendsten Almböden gefunden. Dass sie trotz ihres hohen Toxizitätspotentials nicht verbreitet großen Schaden anrichten, verdankt man dem Umstand, dass sie aufgrund ihrer geringen Wasserlöslichkeit für die Nahrungskette kaum verfügbar sind. Nur bei direkter Inhalation (z. B.: Zigarettenkonsum), oder bei oraler Aufnahme von Ruß-belasteten Nahrungsmitteln (angebrannte oder falsch geräucherte Lebensmittel) ist eine unmittelbare Gesundheitsgefährdung gegeben.

Die Schadstoffgruppe der PAH's besteht aus vielen Einzelsubstanzen, deren bekanntester Vertreter das als Leitsubstanz gebräuchliche Benzo(a) Pyren ist. Bei der steirischen Bodenzustandsinventur werden folgende PAH's bestimmt:

Phenanthren	Summe Benzo(b+k+j) Fluoranthen
Anthracen	Benzo(e) Pyren
Fluoranthen	Benzo(a) Pyren
Pyren	Perylen
Summe Triphenylen + Chrysen	Benzo(ghi) Perylen

Um die Ergebnisse besser überblicken und interpretieren zu können, werden die Einzelgehalte zu einer „PAH-Summe“ addiert - ausgenommen von dieser Summenbildung werden nur die Substanzen Phenanthren und Anthracen, da sie größere analytische Schwankungen aufweisen und so das Ergebnis verfälschen können. Ihre Bestimmung ist aber dennoch von Bedeutung, da Phenanthren und Anthracen, als die zwei niedermolekularsten untersuchten Verbindungen, auch die größte Tendenz zur Tiefenverlagerung verglichen mit den anderen PAH's aufweisen.

Zur leichteren Interpretierbarkeit der Untersuchungsergebnisse wird folgende grobe **Klasseneinteilung** getroffen (ppb = µg/kg):

PAH-Summe	0 - 200 ppb	„Ubiquitäre Belastung“
PAH-Summe	201 - 500 ppb	„Erhöhte Belastung“
PAH-Summe	> 500 ppb	„Starke Belastung“

Die Bestimmung der PAH's erfolgt in gemeinsamer Aufarbeitung mit den chlorierten Kohlenwasserstoffen nach einer in internationalen Ringversuchen getesteten Methode (Aceton-Extraktion und Messung mittels GC - MS).

Wie bei den chlorierten Kohlenwasserstoffen, wurde bei der Bodenzustandsinventur primär nur der Oberboden untersucht und erst ab einer PAH-Summe von mehr als 500 ppb auch die Unterböden kontrolliert.

Untersuchungsergebnisse:

Anzahl der Standorte in den einzelnen Bewertungsklassen der **PAH-Summe** im Bezirk Murtal:

PAH-Summe (Horizont 1)	Ubiquitäre Belastung	Erhöhte Belastung	Starke Belastung
Grünland	44	1	-
Acker	15	-	1
Hochalm	19	1	-
Wald	3	-	-
Alle Standorte in MT in %	96 %	2 %	1 %
Steiermark in %	86 %	8 %	6 %

→ Im Bezirk Murtal findet man vergleichsweise weniger belastete Standorte als es dem Durchschnitt der landesweiten Bodenzustandsinventur entspricht.

Stark belastet ist nur der Ackerstandort **VFD 6**, wo zu Zeiten des historischen Bergbaus im Kothgraben bei Kleinfestritz eine Köhlerei gestanden ist.

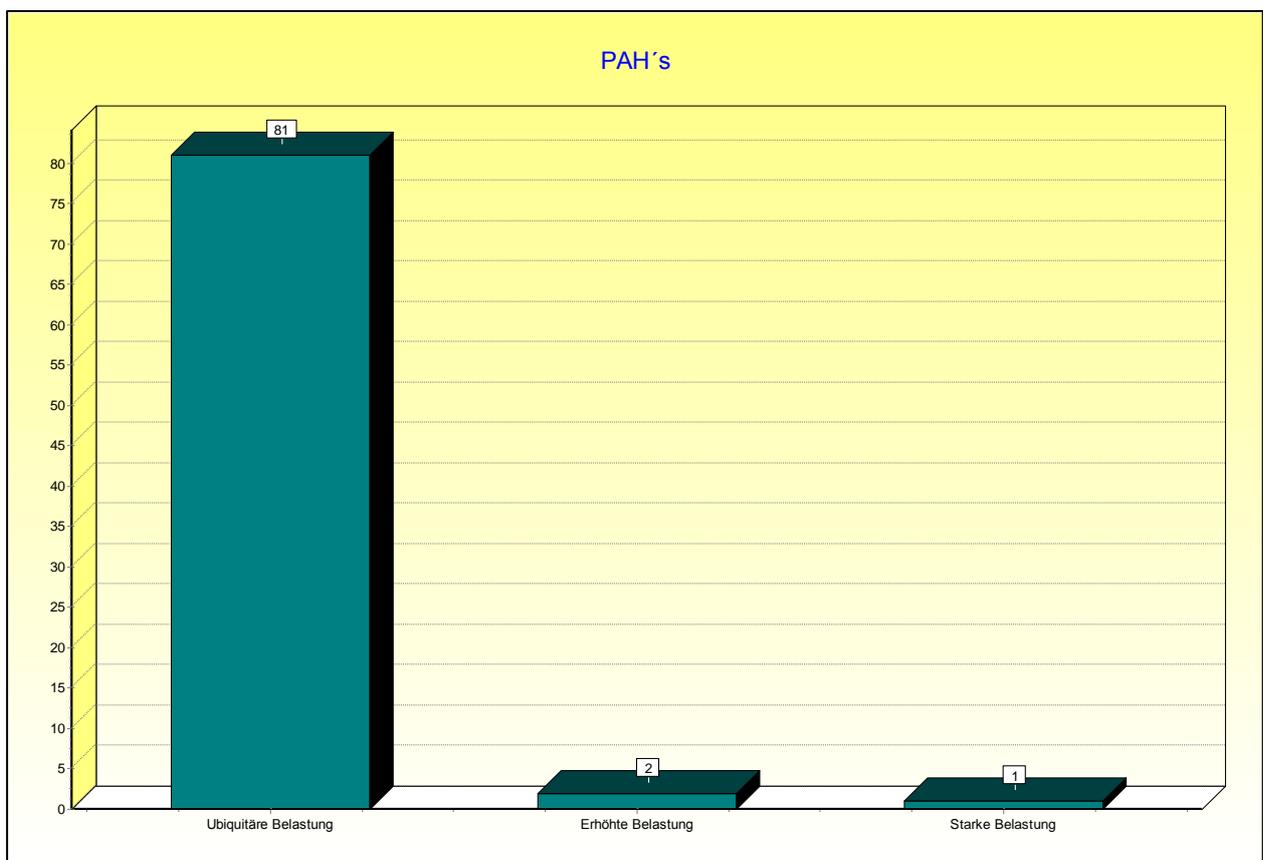
Bei den zwei Standorten **JUX 3** und **11** werden unterschiedliche Ursachen der **erhöhten Belastungen** angenommen: Die Belastungen am Grünlandstandort **JUX 11** wurden vermutlich im Zuge von Überschwemmungsereignissen in den Boden eingetragen und am Hochalmstandort **JUX 3** könnten die Rückstände auf ein kleinräumiges Brandereignis zurückzuführen sein.

Die Weiterverfolgung von Abbau und Zunahme im Laufe der Zeit ist für die Schadstoffgruppe der PAH's durch die in Arbeit befindliche **Bodendauerbeobachtung** gewährleistet.

Die statistischen Richtwerte der im Bezirk Murtal untersuchten Standorte lauten:

PAH-Summe in ppb ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	Horizont 1
Minimum	13
Maximum	568
Mittelwert	77
Median - Murtal	64
Median - Steiermark	65

Die mittlere Belastung der Böden im Bezirk Murtal entspricht dem Landesdurchschnitt.



Anzahl der Standorte in den Bewertungsklassen des PAH-Gehaltes

Triazin - Rückstände:

Allgemeines:

Die Untersuchung von Triazinrückständen erfolgt nur an Ackerstandorten und umfasst die Rückstände folgender **5 Triazine**:

Atrazin, Simazin, Cyanazin, Terbutylazin und Propazin.

Die angeführten Substanzen sind Unkrautvernichtungsmittel (Herbizide), wovon vor allem das Mittel **Atrazin** bis Mitte der 90er Jahre beim Maisanbau stark zum Einsatz kam. Als das Problem der Grundwasserkontamination auftrat, wurde die Anwendung von Atrazin, nach anfänglichen gesetzlichen Anwendungsbeschränkungen, mit 5. 5. 1995 gänzlich verboten.

Die Bestimmung der Rückstände im Boden erfolgt nach einer Aceton/Wasser - Extraktion und Messung mittels NPD - GC.

Die Bestimmungsgrenze der einzelnen Parameter beträgt 10 µg/kg (= 10ppb).

Die Schwankungsbreite der Atrazinrückstände im Boden kann auf Grund von inhomogener Aufbringung eine relativ hohe lokale Variabilität aufweisen!

Untersuchungsergebnisse:

An den 16 untersuchten Ackerstandorten im Bezirk Murtal wurden an den drei Untersuchungsstellen **VFD 6** und **JUA 5 + 6** **Atrazin - Rückstände** nachgewiesen. An den Standorten **JUA 5 + 6** betreffen sie die Untersuchungsjahre 1992/93, als das Herbizid noch angewendet werden durfte. Die Rückstände waren im Zuge der Bodendauerbeobachtung 2002 und 2012 nicht mehr nachzuweisen.

Im Boden des Ackerstandortes **JUA 5** wurde im Jahr 2012 die Substanz **Terbutylazin** - ein Wirkstoff in zugelassenen Herbiziden für den Ackerbau - gefunden (16 ppb).

Der Standort **VFD 6** ist hinsichtlich des Abbaus der Atrazin - Rückstände ein Sonderfall. Der ehemalige Köhlerplatz weist im Boden einen sehr großen Anteil an Kohlenstoff auf an den die Rückstände organischer Verbindungen fixiert und nur sehr langsam abgebaut bzw. in tiefere Bodenschichten verlagert werden. Im Laufe von zehn Jahren hat sich der ursprüngliche Gehalt der Atrazin - Rückstände erst auf ein Viertel verringert. Der weitere Abbau des Schadstoffes im Boden wird durch die in Arbeit befindliche Bodendauerbeobachtung weiterhin kontrolliert.

Bodenbelastungen im historischen Bergbauggebiet Oberzeiring

(aktualisierter Auszug aus dem Bodenschutzbericht 1999)

Bereits im Bodenschutzbericht 1994 wurde bei den Untersuchungen im 4x4 km – Raster der Steiermark festgestellt, dass der Standort **JUA 10** in Oberzeiring bei mehreren Schwermetallen erhöhte Bodengehalte aufweist. Besonders beim Element Arsen wurden mit Werten über 400 ppm die zum damaligen Zeitpunkt höchsten in der Steiermark gemessenen Gehalte festgestellt.

Dieses Ergebnis war unter anderem ein Grund das Ausmaß der heutigen Bodenbelastungen im alten Bergbauggebiet Oberzeiring näher zu untersuchen.

Das Hauptaugenmerk der mittelalterlichen Hüttenproduktion in Oberzeiring galt ausschließlich der Erzeugung von Silber durch oxidierendes Schmelzen von Bleierzen. Der Beginn der Bergbautätigkeiten dürfte am Anfang des 13. Jahrhunderts liegen. Die Münzstätte Zeiring dürfte um 1284 als Schwesterprägestätte zur „Grazer Münze“ gegründet worden sein, was auch als erster Hinweis auf die Verhüttung der Erze in Oberzeiring gelten kann. Durch einen Wassereinbruch mit katastrophalen Folgen fand im Jahr 1361 der Bergbau ein abruptes Ende.

Der Betrieb der Schmelzöfen wurde aber zum Teil mit zugeliefertem Erz weitergeführt. Ein Versuch die alten Schlackenhalde neu zu überschmelzen wurde wegen des zu geringen Silbergehaltes wieder eingestellt. In den Jahren 1591 – 1598 wandte man sich verstärkt der Kupfergewinnung zu. 1698 wurde ein Hüttenofen zur Gewinnung von Eisen erbaut. 1886 wurden die industriellen Tätigkeiten endgültig eingestellt.

Die genaue Lage der mittelalterlichen Schmelzöfen ist heute nicht mehr bekannt. Vermutete Standorte liegen im verbauten westlichen Ortsgebiet von Oberzeiring. Das Material der ehemaligen Schlackenhalde wurde über Jahre hinweg als Straßenschotter verwendet.

Es wurden in der Region Oberzeiring und Umgebung folgende 6 Standorte eingerichtet:

- VFE 1: Grünlandstandort in Nähe des letzten Hochofens zur Eisengewinnung am Pölsbach bei Unterzeiring.
- VFE 2: Grünlandstandort in Nähe eines Stollens im Pölstal westlich von Unterzeiring.
- VFE 3: Grünlandstandort vor dem Franziskistollen westlich von Oberzeiring (der alte Rasterstandort JUA 10 liegt ca. 170 Höhenmeter oberhalb des Stolleneingangs in einem Wiesenhang).
- VFE 4: Grünlandstandort ca. 70 m südlich von VFE 3, aber jenseits des Blahbaches.
- VFE 5: Grünlandstandort nördlich von Oberzeiring in ca. 1140 m Seehöhe.
- VFE 6: Auboden aus Schwemmmaterial des Blahbaches, welches eventuell durch Schadstoffe aus den alten Schmelzöfen und Schlackenhalde beeinflusst ist; nordöstlich von Oberzeiring.

Untersuchungsergebnisse:

Überschreitungen der Normalwerte findet man bei den Elementen:

VFE 1:	Pb, Mo, Cd, Hg
VFE 2:	Zn, Pb, Cd, Hg
VFE 3:	Cu, Zn, Pb, Mo, Cd, Hg, As
VFE 4:	Pb, Mo
VFE 5:	Cu, Zn, Cr, Ni, Mo, Cd, As
VFE 6:	Cu, Pb, Mo, Cd, Hg, As

Der Standort **VFE 1** weist erhöhte Werte an Blei, Molybdän und Cadmium auf, welche im Oberboden angereichert sind. Die nur in einem Untersuchungsjahr erhöhten Quecksilberwerte sind vernachlässigbar.

Auf Grund der großen Differenz der Schwermetallgehalte zwischen Ober- und Unterboden kann vor allem beim **Blei** angenommen werden, dass der anthropogene Anteil nicht nur aus der heute üblichen Umweltbelastung resultiert, sondern auch eine „Altlast“ aus den Emissionen des ehemaligen Eisenschmelzofens beinhaltet.

Beim ca. 1,3 km entfernten Standort **VFE 2** ist die Herkunft der überhöhten Schwermetallgehalte anders zu erklären.

Zink und Cadmium sind hier im Oberboden in so geringem Maß angereichert, dass eine diffus eingetragene Umweltbelastung als Ursache angenommen werden kann.

Die erhöhten Quecksilberwerte sind minimal und überwiegend geogen bedingt.

Der stark überhöhte **Bleigehalt** des Bodens ist annähernd gleichmäßig über alle untersuchten Bodenhorizonte verteilt und daher als überwiegend geogen erklärbar.

Die beiden Untersuchungsstellen **VFE 3 und 4** sind nur ca. 70 m voneinander entfernt, aber durch den Blahbach morphologisch getrennt. Das bodenbildende Ausgangsmaterial ist bei dem in Nähe des Franziskistollens gelegenen Standorts VFE 3 Hangschutt aus dem oberhalb gelegenen Bergbauareal, beim Punkt VFE 4 Schwemmmaterial des Baches aus dem von Schwermetallen relativ unbelasteten Hinterland.

Der Vergleich der Schwermetallgehalte der beiden Standorte zeigt, wie eng lokal begrenzt Bodenbelastungen auftreten können. So weist der Standort VFE3 bei mehreren Schadstoffen Extremwerte auf, die Werte des Punktes VFE 4 sind von geringfügigen ubiquitären Umweltbelastungen (Pb, Mo, Cd) abgesehen unauffällig.

Vergleich der Schwermetallgehalte (in mg/kg des Oberbodens) der Standorte VFE 3 und VFE 4:

Element	VFE 3	VFE 4
Kupfer (Cu)	227,0	36,5
Zink (Zn)	306,1	107,9
Blei (Pb)	8769,2	59,6
Chrom (Cr)	40,7	50,9
Nickel (Ni)	30,0	40,8
Kobalt (Co)	15,9	16,9
Molybdän (Mo)	2,32	1,58
Cadmium (Cd)	1,48	0,33
Quecksilber (Hg)	1,25	0,23
Arsen (As)	347,5	26,6

Der Bleigehalt des Standortes VFE 3 ist der höchste, der bisher in der Steiermark festgestellt wurde. Er erreicht im Unterboden einen Gehalt von beinahe 2 % Blei!

Die hohen Schwermetallgehalte des Standortes VFE 3 steigen zum Unterboden hin noch weiter an, was die geogene Herkunft und das Erzreichtum des Gebietes dokumentiert.

Auffällig hoch ist am Standort VFE 3 auch der Gehalt an „**pflanzenverfügbarem Kupfer**“ (EDTA-Extrakt). Er beträgt 77 mg /kg, wobei laut Düngerichtlinien schon ein Gehalt von mehr als 20 mg/kg als „sehr hoch“ einzustufen ist.

Es ist anzunehmen, dass vom Blahbach im Laufe der Zeit immer wieder erzhaltiges Material mittransportiert und wieder sukzessive abgelagert wurde.

Aus diesem Grund wurde etwa 2 km talabwärts der Standort **VFE 6** eingerichtet. Er könnte auch Schwermetalle aus den vermuteten Verhüttungsanlagen im heutigen Ortsgebiet von Oberzeiring aufweisen.

Diese Vermutung wird durch die Untersuchungsergebnisse bestätigt. Neben relativ niedrigen Normalwertüberschreitungen bei den Elementen Kupfer (nur im Unterboden), Molybdän, Cadmium und Arsen weist der Standort beim Schadstoff **Blei** eine deutliche Überschreitung des Normalwertes auf.

Zur weiteren Charakterisierung des Bergbaugebietes wurde auch im Abbaubereich oberhalb des Ortes Oberzeiring eine weitere Untersuchungsstelle (**VFE 5**) eingerichtet.

Die dominierende Bodenbelastung ist hier das Element **Arsen**, aber auch alle übrigen bestimmten Schwermetalle außer Kobalt und Quecksilber weisen zumindest im Unterboden erhöhte Gehalte auf.

Überschreitungen des gesetzlichen Grenzwertes findet man bei den Elementen:

VFE 1:	Pb
VFE 2:	Pb, As
VFE 3:	Cu, Zn, Pb, Cd, Hg, As
VFE 4:	As
VFE 5:	Ni, As
VFE 6:	Pb, As

Der gesetzlichen Vorgabe entsprechend wurden daher **Pflanzenproben** gezogen und auf jene Schadstoffe, wo es zu Überschreitungen kommt untersucht.

An allen Standorten außer am Punkt VFE 3 liegen die Schwermetallgehalte der untersuchten Grasproben im normalen Gehaltsbereich.

An der Untersuchungsstelle **VFE 3** konnten aus zeitlichen Gründen nur Grasproben kurz nach der Mahd gezogen werden. Die erste untersuchte Probe waren kurze Grasreste von 2-10 cm Länge, als zweite Grasprobe wurden die am Boden liegenden Mähreste herangezogen. Beide Proben sind mit Bodenpartikeln kontaminiert. Der Boden des Standortes weist beim **Blei** die höchsten Gehalte auf, welche bisher festgestellt wurden. Dementsprechend hoch waren auch die gemessenen Pflanzengehalte (35 und 61 mg/kg Trockensubstanz).

Auch beim **Arsen** führen die hohen Bodengehalte zu hohen Gehalten in den Grasproben (2,2 und 5,1 mg/kg Trockensubstanz).

Die Schwermetallgehalte an Kupfer, Zink und Cadmium, welche im Boden nicht so stark erhöht sind, weisen auch in den untersuchten Pflanzenproben trotz der Kontamination noch normale Werte auf.

Eine Untersuchung von nicht mit Bodenpartikeln kontaminierten Grasproben wies normale Schwermetallgehalte auf.

Der historische Arsenbergbau im Kothgraben bei Kleinfestritz

(aktualisierter Auszug aus dem Bodenschutzbericht 1999)

Arsen – Vorkommen in der Steiermark:

Arsenerze kommen in der Natur häufig als Begleitmineral mit anderen Sulfiden von Blei, Zink, Eisen und Kupfer vor. Bekannt ist auch die Vergesellschaftung mit dem Edelmetall Silber. Manchmal tritt Arsenkies auch als Hauptmineral auf.

Das leicht sublimierbare Arsentrioxid (Hüttrauch) entsteht oft als Nebenprodukt bei der Verhüttung anderer Erze.

In der Literatur (Vorkommen des Elementes Arsen in den Ostalpen von F. Czermak und J. Schadler; 1933) werden in der Steiermark folgende Vorkommen angeführt:

- Kothgraben bei Kleinfestritz
- St. Blasen – Karchau bei St. Lambrecht
- Gasen, Reschenkogel, nördlich des Straßeggsattels (früher „Zuckenhut“)
- Schladming, auf der Zinkwand und der Vötternspitze
- Walchen bei Öblarn
- Radmer bei Eisenerz
- Kalwang im Liesingtal
- Puchegg bei Vorau
- Altenberg bei Neuberg
- Völlegg bei Fischbach
- Krumbach auf der Koralpe bei Eibiswald
- Erzberg
- Knittelfeld, Holzbrückenmühle
- Roßbachgraben bei Obdach
- Flatschach bei Seckau
- Fohnsdorf, im Rudolfiflöz des Kohlenlagers
- Pusterwald, Plettenalm
- Oppenberg bei Rottenmann
- Donnersbach bei Irdning

Verwendung von Arsen:

Schon im Mittelalter wurde Arsen in großen Mengen nach Venedig gebracht, wo es bei der Klärung von Glas Verwendung fand.

Im 20. Jahrhundert wurde es hauptsächlich zur Herstellung von Schädlingsbekämpfungsmitteln eingesetzt. Zum Beispiel als Calciumarsenat zur Bekämpfung des Baumwollkapselkäfers in den Baumwollplantagen der USA. Weiters als Rattengift, als Desinfektionsbad für Schafe und Ziegen, als Fungizid zur Zaunpfostenimprägnierung, oder zur Behandlung von Schuppenflechte.

Auch als Legierungsbestandteil zur Erhöhung der Härte von Blei- und Kupferlegierungen und in der Halbleitertechnik findet Arsen Anwendung.

Der historische Arsenbergbau im Kothgraben bei Kleinfestritz

Der Arsenbergbau im Kothgraben bei Kleinfestritz setzte bereits im 15. Jahrhundert ein und war bis zum Ende des 17. Jahrhunderts in Betrieb. Auch der Abbau von Kupfer und Gold wird in der Literatur erwähnt.

Die ehemaligen Halden und Röstplätze liegen heute im Wald. Als Untersuchungsstandort wurde eine kleine Grünfläche am westlichen Rand des Bergbaugesbietes gewählt (Standort **VFD 2**).

Aus historischen Dokumenten geht hervor, dass die Betriebszeit der Arsenikhütte auf die Zeit von „Simon Judä bis Philipi“ (Ende Oktober bis Anfang Mai) limitiert war, da durch die giftigen Abgase Mensch und Vieh Schaden erleiden könnten. Als 1637 wegen des lukrativen Arsenikhandels diese Zeit nicht eingehalten wurde, haben am 7. Mai aufgebrachte Bauern (weil „*der giftige Rauch des Arsenici die Viehweiden verdorben hat, so daß Vieh umgestanden sei*“) den Röstofen zerstört.

Da das Bergbaugesbiet in unmittelbarer Nähe des Kothbaches liegt, ist anzunehmen dass im Laufe der Geschichte erzhaltiges Material vom Bach mittransportiert wurde. Um das nachzuweisen wurde ca. 3 km talauswärts der Standort **VFD 1** eingerichtet.

In der Nähe von Bergbaugesbieten standen üblicherweise auch Kohlenmeiler, welche die benötigte Holzkohle produzierten. Spuren davon findet man heute noch in der Ortschaft Kohlplatz, zwischen Groß- und Kleinfestritz. Hier wurde der in einem Acker gelegene Standort **VFD 6** eingerichtet um die heutige Belastung mit den aus der Köhlerei stammenden PAH's zu kontrollieren.

Untersuchungsergebnisse:

Überschreitungen der Normalwerte findet man bei den Elementen:
Cu, Pb, Hg und As.

Besonders hoch ist die Belastung mit **Arsen** am Standort **VFD 2**. In der Bodenschicht 5-20 cm liegt der Arsengehalt bei 1477 ppm und zählt zu den höchsten Werten, welche bisher in der Steiermark gemessen wurden.

Die Gehalte an Blei entsprechen der üblichen ubiquitären Belastung. Die Kupfergehalte erreichen etwas mehr als es dem doppelten Normalwert entsprechen würde. Die nur in einem Untersuchungsjahr festgestellte Quecksilberbelastung ist vernachlässigbar.

Der Untersuchungsstandort VFD 2 wird derzeit landwirtschaftlich zu Weidezwecken genutzt.

Alle Schwermetalle außer Chrom und Nickel sind im Oberboden angereichert, was auf anthropogene Einflüsse hinweist. Bei den mengenmäßig hohen Belastungen von Arsen und Kupfer ist die ehemalige Bergbautätigkeit als Verursacher anzunehmen.

Schwermetallgehalte im Bodenhorizont/Untersuchungsjahr in mg/kg: VFD 2

Element	0 – 5 cm 1997	0 – 5 cm 1998	5 – 20 cm 1997	20 – 50 cm 1997
Kupfer (Cu)	128,6	108,2	142,8	73,1
Zink (Zn)	75,2	70,9	57,2	53,2
Blei (Pb)	46,6	46,5	20,9	9,4
Chrom (Cr)	46,3	39,3	50,2	49,5
Nickel (Ni)	21,2	21,8	26,0	25,4
Kobalt (Co)	20,4	22,0	22,9	16,7
Molybdän (Mo)	0,90	0,65	0,54	0,49
Cadmium (Cd)	0,29	0,28	0,10	0,09
Quecksilber (Hg)	0,22	0,28	0,07	0,04
Arsen (As)	864,0	750,0	1477,0	528,0

Auffällig hoch ist am Standort VFD 2 auch der Gehalt an „pflanzenverfügbarem Kupfer“ (EDTA-Extrakt). Er beträgt 46 mg /kg, wobei laut Düngerichtlinien schon ein Gehalt von mehr als 20 mg/kg als „sehr hoch“ einzustufen ist.

Der ca. 3 km talauswärts gelegene Standort **VFD 1** ist ein Schwemmboden, dessen Ausgangsmaterial vom Schwermetallgehalt der höher gelegenen Bergbauregion beeinflusst wurde. Die Arsengehalte sind niedriger, aber noch immer deutlich überhöht.

Der Standort **VFD 6** liegt schon mehr als 10 km talauswärts vom Bergbauggebiet entfernt. Das Ausgangsmaterial seines Bodens besteht aus Schwemmmaterial und Holzkohle aus der ehemaligen Köhlerei. Die Schwermetallgehalte sind hier wieder völlig normal.

Die am Standort **VFD 6** (ehemaliger Kohlenmeiler) vermutete Belastung mit **polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAH's)** ist wesentlich geringer, als ursprünglich befürchtet. Obwohl der Boden bis in eine Tiefe von 45 cm durch Holzkohle stark schwarz gefärbt ist, liegt die Summe der untersuchten PAH's in den oberen beiden Bodenhorizonten (0-20 und 20-50 cm) nur bei ca. 500 ppb. Dies ist zwar eine erhöhte Belastung (als ubiquitärer Background werden Gehalte bis 200 ppb gewertet), dennoch wurden ursprünglich Gehalte vermutet, die mindestens eine Zehnerpotenz höher liegen. Als sehr hoch ist an diesem Standort nur der Gehalt des Phenanthren anzusprechen. Diese Substanz wird aber wegen ihrer zu hohen analytischen Schwankungsbreite nicht in die Summenbildung der PAH mit einbezogen. Sie ist auch aus toxikologischer Sicht weniger bedenklich.

Hinsichtlich der Tiefenverlagerung der PAH's erkennt man, dass hauptsächlich die niedermolekularen PAH's wie Phenanthren, Fluoranthren und Pyren in den Unterboden verlagerbar sind. Höhermolekulare PAH's sind im Unterboden nur in Spuren nachzuweisen.

Eine unerwünschte Eigenschaft des hohen Kohleanteils des Bodens wurde dennoch festgestellt. Auf Grund der sehr guten Adsorptionseigenschaften von Kohlenstoff wurden Pflanzenschutzmittel - wie das seit 1995 verbotene **Atrazin** - im Boden akkumuliert und langsamer als üblich abgebaut.

Der Atrazingehalt des Oberbodens lag 1997 bei **483** und 1998 bei **429 ppb** (als noch tolerierbare Bodengehalte wurden damals Werte unter 70 ppb angenommen).

Da der vom ehemaligen Kohlenmeiler beeinflusste Bereich aber nur einen kleinen Teil des Ackers einnimmt, wurde auch eine Mischprobe der gesamten ackerbaulich genutzten Fläche untersucht. In diesem Fall beträgt der Atrazingehalt nur mehr akzeptable 50 ppb.

Um den Verlauf des Atrazinabbaus im Bereich des Standortes VFD 6 weiterhin zu verfolgen, erfolgte 1999 eine zusätzliche Untersuchung, welche 163 ppb Atrazin im Oberboden ergab. 2007 lag der Gehalt bei 124 ppb Atrazin.

Überschreitungen des gesetzlichen Grenzwertes findet man bei den Elementen:
Cu und As.

Der gesetzlichen Vorgabe entsprechend wurden daher **Pflanzenproben** gezogen und auf jene Schadstoffe, wo es zu Überschreitungen kommt untersucht.

Die Schwermetallgehalte der untersuchten Grasproben liegen bei allen Standorten im normalen Gehaltsbereich.

Erläuterung der Abkürzungen

Die Untersuchungsparameter:

CaCO₃	Kalziumcarbonat bzw. Kalk
P₂O₅	Phosphorpentoxid → Angabeform des Phosphor-Gehaltes
K₂O	Kaliumoxid → Angabeform des Kalium-Gehaltes
Mg	Magnesium
B	Bor
F	Wasser - extrahierbares Fluor

EDTA-Cu	EDTA - extrahierbares Kupfer
EDTA-Zn	EDTA - extrahierbares Zink
EDTA-Mn	EDTA - extrahierbares Mangan
EDTA-Fe	EDTA - extrahierbares Eisen

Ca Kat	Austauschbares Kalzium
Mg Kat	Austauschbares Magnesium
K Kat	Austauschbares Kalium
Na Kat	Austauschbares Natrium

Cu	Kupfer	Ni	Nickel	Hg	Quecksilber
Zn	Zink	Co	Kobalt	As	Arsen
Pb	Blei	Mo	Molybdän		
Cr	Chrom	Cd	Cadmium		

HCB	Hexachlorbenzol
PAH's, PAH	Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe

Konzentrationsangaben:

ppm	„part per million“, z. B.: mg/kg (Milligramm pro Kilogramm)
ppb	„part per billion“, z. B.: µg/kg (Mikrogramm pro Kilogramm)

Literatur

Richtlinien für sachgerechte Düngung - 6. Auflage, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, 2006.

Bodenzustandsinventur - Konzeption, Durchführung und Bewertung - Empfehlungen zur Vereinheitlichung der Vorgangsweise in Österreich - 2. Auflage, Blum / Spiegel / Wenzel, 1996.

Bodenschutzkonzeption - Bodenzustandsanalyse und Konzepte für den Bodenschutz in Österreich, Blum / Wenzel, 1989.

Lehrbuch der Bodenkunde - 11. Auflage, Scheffer / Schachtschabel, 1984.

Metalle in der Umwelt, Ernest Merian, 1984.

Steirische Bodenschutzberichte 1988 - 2009.

Niederösterreichische Bodenzustandsinventur, 1994.

Oberösterreichischer Bodenkataster - Bodenzustandsinventur 1993.

Diverse ÖNORMEN des Österreichischen Normungsinstitutes.

Mayer K.: Bodenerosion im Tertiärhügelland der Steiermark, Dissertation an der Universität für Bodenkultur Wien, 1998.

Die verwendeten Grafik-Clips wurden den Programmen „Clipart“, „Masterclips“ und „ClickART“ entnommen.

IMPRESSUM

Herausgegeben von:

Abteilung 10 Land- und Forstwirtschaft
Abteilungsleiter Hofrat Dipl. Ing. Georg Zöhrer

Redaktion, Layout und Inhalt:

A10, Referat Boden- und Pflanzenanalytik
Mag. Dr. Wolfgang Krainer

Druck:

A2- Zentrale Dienste

